

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

**DOMINGOS RODRIGUES SOUZA JUNIOR**

**O ENSINO DE ELETRODINÂMICA EM UMA PERSPECTIVA  
INVESTIGATIVA: INVESTIGANDO OS DESDOBRAMENTOS SOBRE  
A APRENDIZAGEM DE ESTUDANTES**

VITÓRIA  
2014

DOMINGOS RODRIGUES SOUZA JUNIOR

**O ENSINO DE ELETRODINÂMICA EM UMA PERSPECTIVA  
INVESTIGATIVA: INVESTIGANDO OS DESDOBRAMENTOS SOBRE  
A APRENDIZAGEM DE ESTUDANTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Geide Rosa Coelho

VITÓRIA  
2014

**A474i** Souza Jr, Domingos Rodrigues

O Ensino de Eletrodinâmica em uma perspectiva investigativa: os desdobramentos sobre a aprendizagem dos estudantes / Domingos Rodrigues Souza Junior. - 2014. 179: il.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Vitória, BR-ES, 2014. Orientação: Prof. Dr. Geide Rosa Coelho.

1. Ensino por investigação. 2. Aprendizagem conceitual, atitudinal e procedimental. 3. Tratamento Rasch. 4. Eletrodinâmica. I. Coelho, Geide Rosa, orient. II. Título.

CDU: 37:53



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

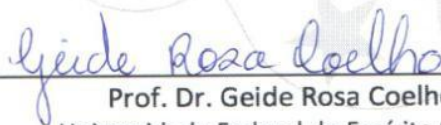
**Domingos Rodrigues Souza Junior**

**O ENSINO DE ELETRODINÂMICA EM UMA PERSPECTIVA  
INVESTIGATIVA: ANALISANDO OS DESDOBRAMENTOS SOBRE A  
APRENDIZAGEM DE ESTUDANTES**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado  
em Ensino de Física da Universidade Federal do  
Espírito Santo como requisito parcial para a  
obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 12 de Setembro de 2014.

**COMISSÃO EXAMINADORA**



Prof. Dr. Geide Rosa Coelho  
Universidade Federal do Espírito Santo



Profa. Dra. Amanda Amantes Neiva Ribeiro  
Universidade Federal da Bahia



Profa. Dra. Simone Aparecida Fernandes Anastácio  
Universidade Federal do Espírito Santo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela minha VIDA.

Aos meus pais, em especial a minha mãe, que me deu a vida, pelo incentivo aos estudos e que compreendeu a minha ausência, às vezes, ao longo da realização dos meus estudos. Também por saber me fortalecer por meio de sua vitalidade, alegria, fé e amor serviram de estímulos para eu continuar esforçando-me para terminar o mestrado, o meu muito OBRIGADO. A vitória é nossa!

Aos meus irmãos, por sempre estarem ao meu lado e pelo amor e carinho. Em especial a minha irmã Luana que não está entre nós, mas que contribuiu muito com esse trabalho. Obrigado.

Ao meu orientador, professor Geide Rosa Coelho, pela amizade e competência com que me orientou na trajetória da confecção deste trabalho de dissertação, sempre se dedicando e contribuindo para a minha formação acadêmica e profissional.

Aos professores e demais funcionários do UFES, em especial do PPGEEnFis, que me estimularam e sempre dispensaram tempo e paciência para minimizar os diversos momentos de preocupação surgidos ao longo desse curso.

À Escola Estadual de Ensino Médio Maria Ortiz. Obrigado pelo apoio, acolhimento e incentivo para desenvolver a pesquisa. Não poderia esquecer dos meus alunos, os quais aprendo muito no cotidiano de sala de aula, “valeu galera”!

A todos os meus amigos e familiares pelo estímulo e apoio para superar os obstáculos ao longo desta trajetória de grande empenho para alcançar a meta profissional: ser mestre na área de Ensino de Física.

*"Ensinar exige respeito aos  
saberes dos educandos... Não  
há saber mais, nem saber  
menos, há saberes diferentes".*

Paulo Freire

## RESUMO

Neste trabalho apresentamos uma proposta para o ensino de Eletrodinâmica em uma perspectiva investigativa, desenvolvida durante o primeiro semestre do ano de 2013, em três turmas, com um total de 67 alunos do terceiro ano do Ensino Médio da Escola Estadual Maria Ortiz, localizada em Vitória, Espírito Santo (ES). O estudo, de cunho longitudinal, de natureza qualiquanti, tem como principal motivo de pesquisa investigar as aprendizagens dos conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais quando se realizam atividades na perspectiva investigativa nas aulas de Física. A metodologia e os recursos utilizados são embasados na teoria do ensino por investigação e na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel que tem como ponto de partida os conhecimentos prévios do estudante, e o seu papel na construção do seu aprendizado. Construímos uma *Unidade Investigativa de Ensino* com textos de apoio conceitual, caderno com atividades e objetos de aprendizagem (applets, simulações e softwares). A coleta de dados processou-se por meio de testes, aulas filmadas e de um diário de campo construído para investigar o desenvolvimento das atividades. Utilizamos o diário de campo, as aulas gravadas em vídeo e áudio e as respostas dadas as questões para inferir as aprendizagens procedimentais e atitudinais dos estudantes. Os resultados apontam mudanças nas atitudes tanto dos estudantes (troca de ideias, participação nas atividades, trabalho colaborativo) quanto nas minhas atitudes enquanto professor-investigador. As mudanças de atitudes dos estudantes estão relacionadas com o modo de aprender, quando questionam, pesquisam e buscam hipóteses para solucionar problemas concretos. Com relação aos conteúdos conceituais, a análise dos dados obtidos à luz do tratamento Rasch apontou que houve evolução nessa dimensão dos conteúdos. Além disso, houve mudanças muito significativas relacionadas às técnicas, estratégias e atitudes utilizadas pelos estudantes quando solucionavam os problemas propostos. O balanço feito é que o modo como a intervenção fundamentada no ensino por investigação, do modo como as ações e atividades foram desenvolvidas, possui potencial para favorecer a Aprendizagem Significativa e de tornar os estudantes mais engajados no processo.

**Palavras-chave:** Ensino por investigação; aprendizagem conceitual, atitudinal e procedimental; Tratamento Rasch, Eletrodinâmica.

## ABSTRACT

In this work we present a proposal of investigative approach to teaching Electrodynamics, performed during the first half of 2013 in three classes, totaling 67 high school senior students attending the E.E.E.M Maria Ortiz located in Vitoria, Espírito Santo (ES). The study of longitudinal and quali-quantitative nature, whose main research reason is to investigate the learning of conceptual, procedural and attitudinal contents while conducting activities of investigative approach in physics classes. The methodology and resources used are both based on the theory of learning through inquiry and Ausubel's Meaningful Learning, whose starting point is the previous knowledge of the student and his role in constructing his own learning. We built an investigative unit of teaching with texts of conceptual support, notebook with activities and learning objects (applets, simulations and software). The data collected was processed through tests, audio and videotaped classes and field diary created to investigate the development of the activities. We used the field diary; the classes recorded on video, the audio and answered questions to infer the procedural and attitudinal students learning. The results point changes in the attitudes of the students (exchange of ideas, participation in activities, collaborative work) and in my attitudes as a researcher teacher. The changes in students' attitudes are related to the way they learn, when questioned, they research hypotheses to solve concrete problems. Regarding the conceptual content, the analysis of the data obtained in the light of the treatment Rasch, pointed out that there was an increase in the dimension of the content. Furthermore, there were quite significant changes related to the techniques, strategies and attitudes used by students while solving the proposed problems. The final balance, indicates that the way the intervention based on the learning through investigation, the actions and activities were developed, has the potential to promote meaningful learning and make students more involved in the process.

**Keywords:** Teaching through inquiry; conceptual learning, attitudinal and procedural; Treatment Rasch, Electrodynamics.



## **LISTA DE SIGLAS**

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CTS - Ciência, Tecnologia e Sociedade

CTSA - Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente

PPGEnFis - Programa de Pós-graduação em Ensino de Física.

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo

ISBN - International Standard Book Number (Número Padrão Internacional de Livro)

PCN - Parâmetros Curriculares Nacionais

PCN+ - Orientações educacionais editadas pelo Ministério da Educação que complementam os PCN

PISA - Programa Internacional de Avaliação de Alunos

OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	17
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>19</b>
2.1 O ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO .....	19
2.1.1 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: CONTEXTO HISTÓRICO.....	19
2.1.2 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: PERSPECTIVAS ATUAIS .....	22
2.1.3 OS PAPÉIS DO ALUNO E DO PROFESSOR .....	25
2.2 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA .....	26
2.3 TRATAMENTO RASCH .....	35
2.3.1 UNIDIMENSIONALIDADE DE UMA ESCALA.....	36
2.3.2 ESTATÍSTICA INFIT .....	37
3.1 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	38
3.2 INSTITUIÇÃO E SUJEITOS PARTICIPANTES .....	39
3.3 DESENHO DA INVESTIGAÇÃO .....	40
3.4 PROPOSTA DIDÁTICA.....	41
3.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ENSINO.....	42
3.4.1.1 O Conteúdo da Aprendizagem e o Objetivo de Ensino .....	42
3.4.1.2 O Papel atribuído ao Professor e ao Aluno.....	44
3.4.1.3 Os Materiais Curriculares e seus Usos .....	45
3.4.2 ORGANIZAÇÃO DO AMBIENTE DE APRENDIZAGEM.....	52
3.5 COLETA DOS DADOS.....	54
3.5.1 INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA COLETA DOS DADOS .....	54
3.5.1.1 Dados Utilizados para a Análise da Aprendizagem Conceitual .....	54
3.5.1.2 Dados Utilizados para Análise da Aprendizagem Procedimental e Atitudinal ..	55
3.5.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS .....	58
3.5.2.1 Método de Análise dos Dados para Investigar a Aprendizagem Conceitual .....	59

3.5.2.1.1 A construção do Sistema Categórico .....	59
3.5.2.1.2 Transformação dos Dados para a Análise Rasch.....	60
<b>3.5.2.2 Método de Análise dos Dados para Investigar a Aprendizagem Procedimental e Atitudinal .....</b>	<b>62</b>
3.5.2.2.1 Análises dos conteúdos/aprendizagens de atitudes .....	63
3.5.2.2.2 Análises dos conteúdos/aprendizagens procedimentais .....	65
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
4.1 ANÁLISE DA APRENDIZAGEM CONCEITUAL: CONSTRUÇÃO DAS MEDIDAS PARA O ESTUDO LONGITUDIANAL .....	69
4.1.1 ANÁLISE DA ESTATÍSTICA INFIT E DA VARIÂNCIA.....	69
4.1.2 ANÁLISE DAS ONDAS DE DADOS PRODUZIDAS NESSE ESTUDO .....	70
4.1.3 ANÁLISE GRÁFICA DO ESTUDO LONGITUDINAL.....	78
4.2 ANÁLISE DA APRENDIZAGEM PROCEDIMENTAL E ATITUDINAL SINALIZADAS MEDIANTE A IMPLEMENTAÇÃO DAS ATIVIDADES.....	89
4.2.1 ANÁLISES DOS GRUPOS INVESTIGADOS.....	90
4.2.1.1 Registros do Primeiro Grupo .....	92
4.2.1.2 Registros do Segundo Grupo .....	103
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>115</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>123</b>
APÊNDICE I. Termo de consentimento livre e esclarecido.....	124
APÊNDICE II. Pré-teste aplicado antes da implementação da primeira atividade.....	126
APÊNDICE III. Pós-teste aplicado depois da implementação da primeira atividade .....	127
APÊNDICE IV. Matéria veiculada no site da Sedu (artigo no XX SNEF).....	128
APÊNDICE V. Produto de mestrado .....	129

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os docentes da área de ciências da natureza, de uma maneira geral, têm sentido a necessidade de repensar suas práticas pedagógicas, renovando as formas de atuação para motivar o estudante a ter interesse pelo estudo das Ciências, trazendo-o para sala de aula (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011). O processo de aprendizagem dos alunos sempre me chamou atenção<sup>1</sup>. Por que, apesar de tanto esforço, os alunos não tinham vontade de aprender Física? Quais mudanças metodológicas eu poderia fazer para tornar o aluno mais centrado nas aulas, proporcionar motivação, dar condições dos próprios alunos se tornarem atuantes, determinados e reflexivos? As leituras sobre a perspectiva do ensino por investigação me levaram a procurar uma teoria de aprendizagem que pudesse fazer uma aproximação entre a estratégia de ensino utilizada e a aprendizagem de conceitos científicos dos alunos.

Este trabalho utiliza a perspectiva investigativa de ensino com o objetivo de produzir nos alunos momentos de discussões que levem às informações pretendidas, considerando o papel do professor neste processo, distanciando-se dos currículos estruturados e engessados. Atualmente, a perspectiva de ensino por investigação aparece como uma maneira de pensar e repensar a escola e o currículo que reflete a prática pedagógica. Há uma tentativa de envolver os alunos cognitivamente e afetivamente, sem lhes dar respostas prontas e prévias, sem conduções muito marcadas pela mão do professor (CACHAPUZ et al., 2011).

Para Teixeira (2003), quando avaliamos o ensino de ciências é notável que o perfil de trabalho de sala de aula nessas disciplinas está rigorosamente marcado pelo conteudismo, excessiva exigência de memorização de algoritmos e terminologias, e ainda, de descontextualização. A prática concreta dos professores no ensino de ciências ainda é marcada por perspectivas tradicionais de ensino-aprendizagem, seja por motivos políticos e econômicos da própria Educação, seja por problemas na

---

<sup>1</sup> No decorrer da dissertação, utilizo tanto a primeira pessoa do singular quanto a primeira pessoa do plural. No primeiro caso, faço para reforçar minha trajetória pessoal - tanto profissional, quanto acadêmica - associadas às minhas asserções de valor e de conhecimento. No segundo caso, dou enfoque ao caráter colaborativo da construção desse trabalho, por meio do diálogo com os autores e dos momentos de orientação e de escrita com meus pares.

própria formação inicial do professor (MARANDINO, 2003). A perspectiva tradicional de ensino é aquela que tem o professor como centro da ação educativa, ou seja, o professor é o transmissor do conhecimento ou do conteúdo e o aluno é visto como mero receptor. No ensino centrado no professor, deixa-se de lado o estudante e seu desenvolvimento. Diferente da perspectiva tradicional, o ensino por investigação como uma abordagem, permite que os alunos questionem, pesquisem e busquem hipóteses para solucionar os problemas. Existe, nessa nova abordagem, a preocupação de melhorar nossas práticas, fugindo do tradicional “cuspe e giz”, na qual o aluno é, muitas vezes, tratado como uma tábula rasa recebedora de conteúdos que não trazem significados para eles, tornando-se meros repetidores de fórmulas, que deixam escapar ou de assimilar conteúdos relevantes que poderiam ser aplicados dentro e fora da sala de aula.

Dados do Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA), realizado em 2012, indicam que a situação do Ensino de Ciências no Brasil é preocupante. O Brasil vem ocupando a posição número 59º dentro do ranking de Ciências dos 65 países e economias participantes (Fonte: OCDE<sup>2</sup>). Segundo os resultados da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), 61% dos alunos do Brasil têm fraco aproveitamento em Ciências, o que significa que, na menor das hipóteses, eles só conseguem aplicar o conhecimento em algumas situações familiares ou então apresentam explicações científicas óbvias. Pouquíssimos alunos, 0,3% no Brasil, possuem bom desempenho em Ciências – o que significa que eles podem identificar, explicar e aplicar o conhecimento científico em uma variedade de situações diferentes. No caso do Espírito Santo, apesar de se destacar em relação aos outros Estados da federação, segundo os dados da OCDE, o Estado ocupou o 1º lugar em Ciências (428 pontos) e o 1º lugar geral somando todas as notas; apesar disso, o resultado é inferior à média dos países participantes do OCDE (que é de 501).

Quando se refere à disciplina Física, que é o que o leciono, a atitude de se repensar a prática de ensino se torna emergencial. A Física é considerada uma das disciplinas

---

<sup>2</sup> Dados da OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - Disponível em <http://www.oecd.org/pisa/keyfindings/PISA-2012-results-brazil.pdf> acessado em 22 de Agosto de 2014.

mais difíceis pela maioria dos alunos o que faz com que os jovens não gostem ou se interessem por ela. Isso, em parte, é consequência da forma como nós professores trabalhamos os conteúdos de Física em sala de aula. As metodologias utilizadas pelos professores quando se abordam conceitos físicos mais complexos – por exemplo, que envolvem utilização de fórmulas que de maneira geral não favorecem o aprendizado e ao invés de atrair a atenção do aluno o afasta ainda mais. A consequência disso é o grande índice de reprovação na disciplina, muitas vezes, supera o índice de reprovação de várias outras disciplinas. A Física é uma disciplina importante da área de Ciências da Natureza com muitos objetivos que tendem a levar os estudantes a se relacionar melhor com o mundo que o cerca (AIKENHEAD, 2005). O lógico, então, seria que o conhecimento adquirido através dessa disciplina pudesse atrair e despertar o interesse do estudante. Infelizmente, os alunos do Ensino Fundamental e Médio ou até mesmo ex-alunos têm manifestados suas péssimas experiências com a Física.

No ambiente escolar, os alicerces das aulas são as aprendizagens que elas proporcionam. Por isso, nós professores precisamos desenvolver metodologias de ensino que tentam atrair a atenção dos alunos para os conteúdos potencializados. Além do conteúdo conceitual, existem outras tipologias de conteúdos, ou seja, aqueles referentes aos procedimentos e as atitudes dos estudantes. Para Zabala (1998), os conteúdos de aprendizagem são aqueles que possibilitam o desenvolvimento das capacidades afetivas, motoras, de inserção social e de relação interpessoal. Os conteúdos podem ser: conceitual, procedimental ou atitudinal. O conteúdo conceitual é o que se deve saber: fatos, conceitos, princípios. O conteúdo procedimental é o que se deve saber fazer: procedimentos, técnicas, métodos. Já o conteúdo atitudinal, como se deve ser, valores, normas, atitudes.

Nos últimos anos, o ensino de Ciências na educação básica vem apresentando novas demandas:

Exige-se agora que o ensino consiga conjugar harmoniosamente a dimensão conceitual da aprendizagem disciplinar com a dimensão formativa e cultural. Propõe-se ensinar Ciências a partir do ensino sobre Ciências. O conteúdo curricular ganhou novas dimensões ao antigo entendimento do conceito do conteúdo. Passa a incluir, além da dimensão conceitual, as dimensões procedimentais e atitudinais (CARVALHO, 2009, p. 2-3).

A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, ao descrever o processo de aprendizagem, destaca a importância do conhecimento prévio dos alunos como fator mais importante na determinação do processo de ensino (AUSUBEL et al, 1978; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 1999). E ainda, oferece uma contribuição para o reconhecimento do aluno como alguém que possui capacidade e possibilidade de aprender, não transformando as diferenças sociais, econômicas, culturais e cognitivas em desigualdades escolares. Assim, a teoria desenvolvida por Ausubel e colaboradores favorece uma amplitude de perspectiva do debate sobre o ensino de Física porque construíram uma teoria voltada para a sala de aula.

As ideias defendidas por Ausubel (que valorizam o que o aluno já sabe), assumidas pelo professor para organizar sua prática pedagógica e combinada com a perspectiva de ensino por investigação, podem levar também a uma possível mudança nas atitudes do professor em sala de aula, pois, ao mudar sua estratégia de ensino, as rotinas dos seus alunos são transformadas na relação do aluno com ele mesmo e com seus colegas de classe e na relação com o seu professor.

Nesse contexto, os rumos tomados pelo estudo aqui relatado decorrem do processo de reflexão: apesar da importância do ensino por investigação para o ensino de Física, é necessário verificar como ocorrem as aprendizagens<sup>3</sup> quando nos pautamos nessa estratégia de ensino e se a aprendizagem é significativa no contexto de sala de aula, ou seja, baseados nos dados deste estudo, poderemos, talvez, apresentar um contributo fundamental ao ensino de Física, referente às aprendizagens produzidas nesse contexto e às experiências estabelecidas na minha prática pedagógica.

Assim, a presente dissertação tem como principal objetivo o estudo dos processos de aprendizagens em Física de estudantes do Ensino Médio quando vivenciam uma intervenção educacional na perspectiva do ensino por investigação. Partimos do pressuposto que por meio desta perspectiva, os discentes compreenderão a importância de uma Ciência para toda a sociedade, com suas limitações e potencialidades, ao mesmo tempo, favorecendo a aprendizagem conceitual, procedimental e atitudinal.

---

<sup>3</sup> Nos três níveis: aprendizagem conceitual, procedimental e atitudinal.

## 1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O relato dessa pesquisa foi estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo, a introdução, apresenta o problema de pesquisa, as questões levantadas que deram origem a essa investigação, bem como os propósitos que motivaram a realização desse estudo. Apresenta, ainda, o contexto no qual a pesquisa foi realizada, os sujeitos e a descrição dos ambientes de aprendizagem.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação acerca dos pressupostos da perspectiva de ensino por investigação. Faço um apanhado histórico da perspectiva investigativa à luz de Zômpero e Laburú (2011), Munford e Lima (2008) e de Rodrigues e Borges (2008), seguida, de uma discussão do papel do professor e do aluno nessa perspectiva de ensino trazidas por Azevedo (2004), Borges (2002), Carvalho (2009), Capecchi (2013) e Gil-Pérez (2005). Trazemos, a seguir, a perspectiva da Aprendizagem Significativa de Ausubel combinadas à teoria da perspectiva investigativa. Por fim, apresentamos os pressupostos do modelo Rasch.

O terceiro capítulo é destinado à apresentação do procedimento metodológico utilizado no desenvolvimento dessa pesquisa de mestrado. Apresentamos o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa e o desenho da investigação. Elaboramos ainda uma proposta didática no qual caracterizamos a Unidade Investigativa de Ensino construída, abordando o desenvolvimento de um material conceitual no domínio da Eletrodinâmica, atividades na perspectiva investigativa, e ainda, da utilização de objetos de aprendizagens destinados, principalmente, ao professor de Física da educação básica. Apresentamos ainda o método de coleta de dados, bem como o método utilizado para analisar os dados.

No quarto capítulo tratamos da análise e interpretação das medidas (entendimento) construídas no estudo para nos ajudar na investigação da aprendizagem conceitual ao longo do estudo da unidade. Apresentamos ainda uma descrição das análises referentes ao estudo de caso que analisa o processo e investiga as aprendizagens procedimentais e atitudinais dos estudantes.

O quinto capítulo corresponde às considerações finais dessa pesquisa. Neste capítulo colocamos as principais conclusões relacionadas à evolução da



aprendizagem conceitual, procedimental e atitudinal dos estudantes bem como os fatores que contribuíram para produzir esses efeitos.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 O ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO**

Há alguns anos, muitos autores têm criticado o modelo tradicional de ensino e reforçado o uso da perspectiva de ensino por investigação na sala de aula (AZEVEDO, 2004; BORGES, 2002; CAPECCHI, 2013; CARVALHO; 2009). A estratégia desenvolvida nas aulas de Física deste estudo convidavam os alunos a realizar experimentos, estruturar as etapas de resolução do problema, buscar evidências para sustentar as ideias, levantar hipóteses para explicar o fenômeno, analisar os resultados, elaborar conclusões e relatar seus resultados. Os alunos e eu éramos os responsáveis pela planificação da investigação, refletindo sobre os problemas e buscando formas para resolvê-los. A seguir faremos uma contextualização histórica da perspectiva de ensino por investigação, faremos uma discussão mais atual dessa perspectiva e, ainda, discutiremos os papéis dos alunos e professores quando nos propomos a trabalhar com uma prática investigativa na sala de aula.

#### **2.1.1 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: CONTEXTO HISTÓRICO**

As atividades investigativas promovem a busca de respostas e a formulação de perguntas que são dois aspectos importantes nas aulas de Física, pois, os alunos envolvem-se em questões científicas que partem de situações do dia-a-dia. Existem várias denominações para essa perspectiva de ensino, são elas: inquiry, aprendizagem por descoberta, projeto de aprendizagem e resolução de problemas. A palavra *inquiry* – que representa o ensino por investigação – foi citada pela primeira vez pelo filósofo e pedagogo John Dewey, no livro *Logic: The Theory of Inquiry*, publicado em 1938.

Na literatura, encontram-se diferentes conceituações de inquiry, como: ensino por descoberta; aprendizagem por projetos; questionamentos; resolução de problemas, dentre outras. A perspectiva de ensino com base na investigação possibilita o aprimoramento de raciocínio e das habilidades cognitivas dos alunos, e também a cooperação entre eles, além de possibilitar que eles compreendam a natureza do trabalho científico (ZÓMPERO; LABURU, 2011, p. 68).

Optamos por utilizar o termo atividades investigativas ou ensino por investigação quando nos referimos a esta abordagem. Essa perspectiva de ensino ganha destaque no cenário educacional, a partir do século XIX, nos EUA. As contribuições do filósofo Dewey visavam à escola ao cotidiano dos alunos e amparava que o aprendizado científico era influenciado pela experiência do discente. Esta experiência nada tinha a ver com as práticas experimentais – ele não defendia a ideia de promover aulas experimentais ao invés de aula expositiva (memorização de conteúdos). Para ele, quando uma criança chegava à escola, ela já havia vivenciado muitas experiências – Dewey afirmava que a experiência e a aprendizagem não se separam, ou seja, “quando a experiência educativa é refletida, a aquisição de conhecimento será seu resultado final, portanto, a experiência dá significado a vida” (DEWEY apud ZÔMPERO; LABURÚ, 2011, p.70). Segundo Barrow (2006), Dewey modificou sua interpretação anterior sobre os passos do método científico para realizar seu objetivo de pensamento reflexivo; esses passos seriam: i) apresentação do problema; ii) formulação de hipóteses; iii) coleta de dados durante o experimento; (iv) formulação de conclusões. A ideia seria preparar os alunos a serem pensadores ativos em busca de respostas e não apenas disciplinar o raciocínio indutivo.

Na primeira metade do século XX, a educação científica teve seu objetivo principal voltado aos valores sociais, devido ao crescimento da urbanização, da imigração e problemas relacionados com a saúde pública – segundo Dewey a educação formal servia para preparar os alunos para a vida, ou seja, possibilitava criar questões significativas sobre problemas sociais (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

A partir da década de 50, os cientistas, educadores e os líderes industriais argumentavam que o Ensino de Ciências tinha perdido seu rigor acadêmico; acreditavam que a metodologia adotada para ensinar ciência não possibilitava o desenvolvimento intelectual dos estudantes, pois, estava voltado aos aspectos de relevância social. A educação estava centrada demais no aluno e havia perdido o rigor acadêmico (DEBOER, 2006). Em decorrência do lançamento do satélite Sputnik pelos russos, a educação científica outra vez voltou para o rigor acadêmico com a preocupação de formar cientistas (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

A partir da década de 60, trabalhos publicados pelo biólogo e educador Joseph Schwab, sob influência de discussões nas áreas de ciências humanas e sociais – constituíram um marco no ensino de ciências por investigação. A educação científica proposta por ele era semelhante àquela proposta no século XIX. A diferença é que naquela época havia uma preocupação com o desenvolvimento pessoal do aluno, e agora, preocupava-se com desenvolvimento da nação americana (DEBOER, 2006).

O ensino por investigação da década de 60 tinha por objetivo formar cientistas (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011). Segundo Munford; Lima (2008), Schwab dividiu o conhecimento científico em duas categorias: o conhecimento científico substantivo (conceitos, teorias, modelos que buscam explicar os fenômenos naturais); o conhecimento científico sintático (procedimento ou práticas aceitas realizadas por cientistas para construção de modelos). Em trabalhos posteriores, o autor apresentou ideias que os currículos de ciências deveriam refletir aspectos do conhecimento sintático, isto é, dos procedimentos e práticas adotadas para se chegar aos conhecimentos científicos. Assim sendo, dois componentes são adotados como essenciais:

[...] 1) Os aprendizes têm de adquirir conhecimentos e experiências nas ciências naturais através de investigações adotando procedimentos similares àqueles que cientistas adotam, e; 2) Os aprendizes têm de estar cientes de que o conhecimento a ser adquirido a partir das investigações está sujeito a mudanças. (DUSCHL, 1994 apud MUNFORD; LIMA, 2008, p. 7).

Já na década de 70, com os agravos causados ao meio ambiente, o Ensino de Ciências passou a preocupar-se com os aspectos sociais relativos ao desenvolvimento científico e tecnológicos. Com a ascensão da Psicologia Cognitiva, as pesquisas na área de Ensino de Ciências, foram direcionadas para as pesquisas que tratavam do aprendizado como uma mudança da estrutura cognitiva do aprendiz (ZÔMPERO; LABURÚ, 2010, 2011). Segundo Rodrigues; Borges (2008) havia uma proposta de um Ensino de Ciências voltado para a mudança conceitual, e acreditavam que essa perspectiva deveria: i) levantar as concepções prévias dos alunos; ii) propor situações que provocassem o conflito cognitivo; iii) explicar o conflito, contrapondo-o com a concepção científica aceita; iv) aplicar a concepção científica em conceitos diversificados. A dificuldade da perspectiva da mudança conceitual é que os alunos não percebiam a existência do conflito e acabavam por

adaptarem as observações colhidas ao longo da atividade e os resultados experimentais às suas ideias prévias (RODRIGUES; BORGES, 2008).

Na década de 80, no documento elaborado pelos Estados Unidos – *Science For all Americans* (AAAS) – os autores recomendam que o Ensino de Ciências deveria ser coerente com natureza da investigação científica (MUNFORD; LIMA, 2008; RODRIGUES; BORGES, 2008). Os estudantes deveriam ser alfabetizados num sentido mais amplo e que permitisse aprender determinados procedimentos, tal como: observar, anotar, descrever, fazer perguntas e procurar encontrar respostas para suas perguntas. Posteriormente em 1996, foi lançado os Parâmetros Curriculares Nacionais Norte-Americanos – National Science Education Standards (NRC) –, onde são propostas algumas orientações para a Alfabetização Científica e também a importância do ensino por investigação (BARROW, 2006). Dentre as propostas estavam: i) engajar de forma inteligente em discussões e debates que envolvam temas que se referem à ciência e à tecnologia; ii) ler artigos de divulgação científica e discutir sobre a validade das conclusões; iii) avaliar a qualidade da informação científica a partir da apreciação dos dados e das respectivas fontes; iv) apresentar e avaliar argumentos, com base nas evidências expostas, e tirar conclusões; v) tomar decisões fundamentadas sobre questões sociais, econômicas, ambientais, éticas e morais (RODRIGUES; BORGES, 2008; NRC, 1996).

Embora o Ensino de Ciências por investigação não esteja ainda bem estabelecido no Brasil (ZÔMPERO, LABURÚ, 2010, 2011; RODRIGUES, BORGES, 2008), muitos autores brasileiros têm discutido/utilizado essa perspectiva de ensino na sala de aula. Atualmente, essa perspectiva de ensino aparece como uma maneira de pensar e repensar a escola e o currículo na prática pedagógica no ensino de ciências (CARVALHO, 2009; CAPECCHI, 2013; AZEVEDO, 2004).

### **2.1.2 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: PERSPECTIVAS ATUAIS**

O que queremos ensinar? É uma das indagações mais antigas da didática das ciências e até hoje traz inúmeras discussões, ainda mais com perguntas: por que ensinar determinado conteúdo? É importante se ensinar ciências por meio de

investigação? Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio - PCNs (BRASIL, 1998) trazem toda uma discussão acerca do entendimento do conceito de conteúdo escolar, que por sinal, vem sofrendo alterações desde o século XX. Além disso, assim como na perspectiva de ensino por investigação, os PCNs discorrem da autonomia do aluno, da necessidade dele exercer sua independência de pensar, planejar, agir diante dos problemas propostos em sala de aula e reconhecer que a Ciência não é estática – fruto de uma verdade absoluta –, mas mutável, provida de alterações advindas de avanços, erros e conflitos (BRASIL, 1998).

Existem nos PCNs várias situações apresentadas ao longo do texto (BRASIL, 1998) que favorecem e potencializam o desenvolvimento de investigação em sala de aula e, ao mesmo tempo, possibilitam aos professores conceberem atividades problematizadoras que despertem e incentive aos estudantes a mudarem as atitudes nas aulas, tornando-se intelectualmente mais ativos. Investigar significa problematizar situações que têm a intenção de promover a aprendizagem pela tomada de consciência do estudante da limitação do seu modelo explicativo, criando assim a possibilidade para que o conhecimento científico seja aprendido.

Com relação ao tema de Física abordado nessa pesquisa, os PCNs (BRASIL, 1998) e PCN+ do Ensino Médio (BRASIL, 2002), a eletricidade deve ser trabalhado em um dos temas estruturadores do ensino da Física, denominado “equipamentos elétricos e as telecomunicações”. Os parâmetros sugerem que o estudo da eletricidade deve centrar-se em conceitos e modelos da eletrodinâmica e do eletromagnetismo. São exemplos de competências e habilidades propostas: (i) dimensionar circuitos elétricos simples para sua utilização; (ii) compreender o significado das redes 110 V e 220 V; (iii) analisar o funcionamento das instalações elétricas; (iv) dimensionar o custo do consumo de energia elétrica em uma residência; (v) conhecer os sistemas que geram energia (pilhas, baterias, geradores). As atividades desenvolvidas no âmbito da sala de aula, não incluem apenas a necessidade da aprendizagem do conteúdo conceitual: “estudar os resistores”, “estudar as diferentes fontes de tensão”, mas incluem conteúdos procedimentais, tendo em vista a compreensão de ideias científicas necessárias, quando se refere ao “modo de obter a informação”, que pode ser adquirida ao observar, experimentar, intervir, ler, interpretar. E ainda,

conteúdos atitudinais, quando orienta o trabalho colaborativo, o respeito mútuo, a atitude em relação ao conhecimento científico.

Ao longo do desenvolvimento desse trabalho, fui procurando compreender o significado do propósito de se ensinar Física por investigação. Inicialmente, imaginava que ensinar por investigação significava lançar um problema sem entender o que de fato é um problema; e, colocar os estudantes para investigar sua solução, sem considerar as rotinas desenvolvidas pelo professor/aluno nessa perspectiva de ensino. Entretanto, as leituras e reflexões de alguns artigos me fizeram perceber a importância de conhecer a essência dessa perspectiva de ensino. Entendi que a concepção de uma atividade investigativa partia de um problema e sua aplicação em sala de aula estava atrelada a uma mudança de rotina do professor e do aluno. Os estudantes, nas atividades investigativas, deveriam procurar dar explicações razoáveis para solução do problema, criando hipóteses e testando-as, e ainda, elaborar conclusões e divulgarem resultados. O papel do professor seria o de mediar o processo de ensino-aprendizagem, tirando dúvidas e instigando a participação dos estudantes, sobretudo, intervindo diligentemente na investigação.

No Brasil o ensino por investigação não está ainda consagrado, na verdade, essa perspectiva é relativamente pouco discutida (MUNFORD; LIMA, 2007). A abordagem investigativa desse estudo se assemelha com as propostas trazidas pelos autores: Azevedo (2004), Borges (2002), Capecchi (2013), Carvalho (2006), Munford; Lima (2007), Rodrigues; Borges (2008) e Zômpero; Laburú (2011). Todos os autores citados defendem a ideia de que o ensino por investigação inclui atividades assumidas como problemas. Segundo Azevedo (2004), esses problemas devem levar o aluno a pensar, a debater, a justificar suas ideias e ainda aplicar os conhecimentos em situações diversas, utilizando os conceitos teóricos e matemáticos.

Diferente do ensino tradicional, centrado no professor, onde o aluno só ouve e copia do quadro, participando pouco do processo em termos de ação em sala, o ensino numa perspectiva investigativa pressupõe nas aulas de Física “trazer para a escola aspectos inerentes à prática dos cientistas” (MUNFORD; LIMA, 2007, p.76). Espera-

se que os estudantes aprendam além dos conteúdos conceituais, os conteúdos procedimentais e atitudinais (POZO; GOMEZ-CRESPO, 2009; ZABALA, 1998).

A realização das diferentes atividades investigativas propostas requer, portanto, uma mudança social na sala de aula, visto que acarreta uma maior responsabilização dos alunos pela sua aprendizagem (CARVALHO, 2009; CAPECCHI, 2013; AZEVEDO, 2004). As consequências dessa alteração de rotina não se refletem somente nos novos papéis dos alunos e dos professores quando se trabalha com a perspectiva investigativa, mas também nas diversas competências que os alunos desenvolvem.

Utilizar atividades investigativas como ponto de partida para desenvolver a compreensão de conceitos é uma forma de levar o aluno a participar do seu processo de aprendizagem, sair de uma postura passiva e começar a perceber e agir sobre o seu objeto de estudo, relacionando o objeto com acontecimentos e buscando as causas dessa relação, procurando, portanto, uma explicação causal para o resultado de suas ações e/ ou interações (AZEVEDO, 2004, p. 22).

### **2.1.3 OS PAPÉIS DO ALUNO E DO PROFESSOR**

Numa proposta de ensino por investigação, deve-se ficar clara a mudança de atitude que essa abordagem deve proporcionar ao professor e ao aluno. O aluno deixa de ser apenas um observador das aulas passando a ter grande influência sobre ela (AZEVEDO, 2004). Nessa nova postura, os estudantes precisam pensar, agir, inferir, interferir, questionar (AZEVEDO, 2004; CARVALHO, 2009; GIL-PÉREZ, 2005); os estudantes, num papel mais ativo que no ensino tradicional: (i) formulam problemas; (ii) pesquisam informações; (iii) levantam hipóteses e realizam experimentos; (iv) utilizam técnicas e estratégias para recolher dados; (v) analisam, discutem e divulgam resultados (CARVALHO, 2009; AZEVEDO, 2004; CAPECCHI, 2013; COELHO; SOUZA, 2013). É importante salientar ainda que em qualquer investigação, os alunos são os responsáveis pelo plano de investigação, o que lhes dá um sentido de poder de decisão sobre aquilo que fazem na sala de aula – o que era papel do professor no ensino tradicional, agora, pertence ao aluno (TAMIR, 1991). A pretensão, na perspectiva de ensino por investigação, é mostrar a necessidade de o professor proporcionar autonomia aos seus alunos, para que eles planejem suas ações e busquem respostas para os problemas levantados.



As atividades investigativas constituem o ponto de partida dos alunos para o “fazer Ciência” em sala de aula. Através delas, é possível, enfatizar as tipologias dos conteúdos conceitual, procedimental e atitudinal dos estudantes. O professor deverá estar consciente dos objetivos de determinada atividade quando a desenvolve em sala de aula (CARVALHO, 2009; AZEVEDO, 2004; HOFSTEIN; LUNETTA, 2004). Segundo Carvalho (2009). É necessário um professor questionador, que saiba argumentar, conduzir perguntas e propor desafios, ou seja, que deixe de ser um simples expositor de conteúdos e que assuma um papel de orientador do processo de ensino. O professor, a partir de uma postura ativa, tem a função de mediador, ou seja, é o facilitador da aprendizagem (HODSON, 1998; TAMIR, 1991) no nível de orientação dada aos estudantes para concretizar as atividades propostas. O modo como o professor intervém dependerá dos objetivos da tarefa e das características dos alunos (AZEVEDO, 2004; BORGES, 2002; CARVALHO, 2009; DEBOER, 2006; HODSON, 1998).

Professores que saibam construir atividades inovadoras que levem os alunos a evoluírem, em seus conceitos, habilidades e atitudes, mas é preciso também que eles saibam dirigir os trabalhos dos alunos para que estes realmente alcancem os objetivos propostos. O saber fazer nesses casos é, muitas vezes, mais difícil do que o fazer (planejar a atividade) e merece todo um trabalho de assistência e de análise crítica dessas aulas. (CARVALHO, 2009, p.9).

Nas atividades investigativas, as ideias levantadas e resoluções propostas são negociadas entre os colegas de classe, inicialmente trabalham em grupo pequenos grupos e, posteriormente entre todos os alunos e professor. A intervenção, na maioria das vezes, segue uma ordem: i) professor dar instrução em frente a turma de alunos e, ii) circula pelos diferentes grupos, orientando e dando *feedback* ao trabalho produzido. Após a conclusão da tarefa, iii) segue uma discussão (mediada pelo professor) destacando: a) as abordagens realizadas por cada grupo à questão investigada; b) e a contribuição da aprendizagem dos colegas (HODSON, 1998).

## 2.2 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

O conhecimento é significativo por definição. É o produto significativo de um processo psicológico cognitivo (“saber”) que envolve a interação entre ideias “logicamente” (culturalmente) significativas, ideias anteriores (“ancoradas”) relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz (ou estrutura de conhecimentos deste) e o “mecanismo” mental do mesmo para aprender de forma significativa ou para adquirir e reter conhecimentos (AUSUBEL, 2003, folha de rosto).

A Física apresenta-se como um ramo das ciências da natureza. Ela está presente no cotidiano e permite compreender o mundo, e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos. Os conteúdos de Física, quando aprendidos de forma significativa, permitem a construção de instrumentos para compreender, intervir e participar da realidade. Para o ensino de Física, mesmo para qualquer outra disciplina, ensinada na escola, é necessário considerar as diferentes tipologias de “conteúdos” desenvolvidos na sala de aula. A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e colaboradores aliada a teoria da perspectiva investigativa de ensino, devem, de alguma forma, direcionar processo de ensino para potencializar a aprendizagem ao organizar o ensino de Física com base nos conhecimentos prévios dos estudantes.

Para (AUSUBEL et al., 1980; AUSUBEL, 2003) a aprendizagem é a ligação feita ou construída pelos alunos dos conteúdos prévios (aquilo que o aluno já sabe: conceitos, princípios, habilidades, técnicas, destrezas, valores, atitudes) aos novos. Essa teoria preocupa-se principalmente com a aprendizagem de conteúdos escolares no que se refere à aquisição desses conhecimentos de maneira “significativa” (em oposição ao conteúdo sem sentido, decorado ou mecanicamente aprendido pelo aluno). Isso significa dizer que Ausubel concebe a aprendizagem tal como ela acontece na sala de aula. Quando se propõe utilizar atividades investigativas na aula de Física, os conceitos novos são assimilados e produzem a modificação da estrutura cognitiva dos alunos, à medida que resolvem a atividade. Os conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, se modificam potencialmente quando estão psicologicamente envolvidos nas aulas. Daí, uma das importâncias dos conhecimentos prévios trazidos pelos alunos à sala de aula.

AUSUBEL et al., 1980; AUSUBEL, 2003 pensam a aprendizagem significativa como um processo contínuo e ativo de conhecimento, que vai sendo construída pouco a pouco – o que a diferencia da aprendizagem mecânica (memorística). No processo de aprendizagem mecânica, também chamada de “decoreba”, os alunos agem não levando as estruturas mentais a nenhuma reorganização ou modificação, ou se isso chega a ocorrer, é muito pouco.

A essência do processo de aprendizagem significativa é que as ideias expressas simbolicamente são relacionadas às informações previamente

adquiridas através de uma relação não arbitrária e substantiva (não literal). Uma relação não arbitrária e substantiva significa que as idéias são relacionadas a algum aspecto relevante existente na estrutura cognitiva do aluno, como, por exemplo, uma imagem, um símbolo, um conceito ou uma proposição. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p.34).

Para Ausubel, aprendizagem significa organização e integração do material na estrutura cognitiva e é através da aprendizagem significativa que o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o sujeito (MOREIRA, 1999). O termo “significativo” (meaningful) opõe-se à aprendizagem de materiais sem sentido. O termo “significativo” pode ser entendido tanto como um material que tem estruturação lógica inerente como ainda aquele material que pode ser aprendido de modo significativo. A possibilidade do conteúdo tornar-se “com sentido” depende de ele ser incorporado ao conjunto de conhecimentos de um indivíduo de maneira *substantiva*, isto é, nas palavras de Moreira: “ (...) significa que o que é incorporado à estrutura cognitiva é a substância do novo conhecimento, das novas ideias, não as palavras precisas usadas para expressá-las.” (MOREIRA, 1999, p.26). Além disso, a aprendizagem significativa é *não-arbitrária*, no sentido que o material significativo se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do aprendiz.

Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro como sendo altamente organizado, formando uma hierarquia conceitual na qual, elementos mais específicos de conhecimentos são ligados e assimilados a conceitos mais gerais, mais inclusivos (MOREIRA, 1999). Essa estrutura específica de conhecimento, Ausubel define como *conceito subsunçor* ou simplesmente subsunçor<sup>4</sup>. Os *subsunçores* são os conceitos prévios já adquiridos ou já formulados pelos alunos, dando base para a formulação de novos conceitos e reestruturação dos processos mentais. O sentido da ação *não-arbitrária*<sup>5</sup> da aprendizagem ocorre quando a nova informação “ancora-se” em conceitos ou proposições relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. A ancoragem é justamente a ligação de um conceito

---

<sup>4</sup> A palavra “subsunçor” não existe em português; trata-se de uma tentativa de aportuguesar a palavra inglesa subsumer, seria mais ou menos equivalente a inseridor, facilitador ou subordinador.

<sup>5</sup> É oposto a “ipsis literis” (arbitrária), ou seja, aprendizagem que ocorre quando o sujeito aprende conteúdos sem dar-lhes sentido. E isso, pode ocorrer por dois motivos: i) os materiais carecem de sentido (o material instrucional não tem potencial) e, ou ii) o indivíduo não lhe confere sentido (pelo fato do aprendiz não ter o pré-conhecimento ou estrutura mental adequada, ou ainda, por não estar intencionado a isso).

prévio a um novo conceito. É uma ideia de âncora, algo que pesca e que busca o conhecimento antigo a partir do novo ou vice-versa.

Podemos estabelecer uma distinção entre aprendizagem por recepção e aprendizagem por descoberta e uma outra entre a aprendizagem automática (por decoração) e significativa. A primeira distinção é importante porque grande parte das informações adquiridas pelos alunos, tanto dentro como fora da escola, é apresentada preferencialmente descoberta. E uma vez que a maior parte do material de aprendizagem é apresentado verbalmente, é igualmente importante observar que a aprendizagem receptiva verbal não é necessariamente automática em caráter e pode ser significativa sem uma experiência prévia não verbal ou de solução de problema (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p.20).

Para esclarecer como é produzida a aprendizagem escolar, Ausubel propõe distinguir dois eixos ou dimensões diferentes que originarão, a partir dos diversos valores que possam tomar em cada caso, as classes diferentes de aprendizagem mecânica e de aprendizagem significativa (PELIZZAR et al, 2002).

O primeiro eixo refere-se a maneira de organizar o processo de aprendizagem e a estrutura em torno da dimensão aprendizagem por descoberta e aprendizagem receptiva. Essa dimensão refere-se à maneira como os alunos recebem os conteúdos escolares do professor, que nesse caso, vai depender da estrutura do material organizado por ele. Se os conteúdos a serem aprendidos se aproximam do pólo da *aprendizagem por descoberta*, logo, esses conteúdos serão recebidos de modo “não-acabados” e os alunos deverão “descobri-los” antes de assimilá-los. Por outro lado, se os conteúdos se aproximam do pólo da *aprendizagem receptiva*, os conteúdos a serem aprendidos são dados aos alunos na sua forma final. Segundo (AUSUBEL et al., 1980; AUSUBEL, 2003), na aprendizagem por recepção o que deve ser aprendido deve ser apresentado ao aprendiz na sua forma final, enquanto que na aprendizagem por descoberta o conteúdo principal deve ser descoberto pelo aprendiz.

O segundo eixo refere-se ao *continuum* delimitado pela aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica. Segundo Pelizzar et al (2002):

Nesse caso, a distinção estabelece, ou não, por parte do aluno, relações substanciais entre os conceitos que estão presentes na sua estrutura cognitiva e o novo conteúdo que é preciso aprender. Quanto mais se relaciona o novo conteúdo de maneira substancial e não-arbitrária com algum aspecto da estrutura cognitiva prévia que lhe for relevante, mais próximo se está da aprendizagem significativa. Quanto menos se

estabelece esse tipo de relação, mais próxima se está da aprendizagem mecânica ou repetitiva. (p.39).

Pontes Neto (2011) aponta algumas vantagens da aprendizagem significativa em relação à aprendizagem mecânica: i) permitir maior diferenciação e enriquecimento dos conceitos integradores favorecendo assimilações subsequentes; ii) retenção por mais tempo, redução do risco de impedimento de novas aprendizagens afins; iii) facilitação de novas aprendizagens; iv) favorecimento do pensamento criativo pelo maior nível de transferibilidade do conteúdo aprendido; v) favorecimento do pensamento crítico e da aprendizagem como construção do conhecimento.

Ausubel fala da aprendizagem significativa como um processo de reorganização ou reestruturação dos processos mentais dos alunos. Por exemplo, basta entender que uma criança, quando pequena, tem alguns processos mentais já construídos e, outros, que vão sendo construídos a partir da interação dela com o seu meio. Mas, depois de alguns anos de experiências ou de alguns anos de vida em contato com seu meio, a criança ao entrar em idade escolar, já apresenta construída na sua mente ou nos seus processos mentais e cognitivos alguns conceitos. É sobre esses conceitos que Ausubel procura trabalhar: reorganizando não só um conceito, mas o pensamento dos alunos. É por isso que se fala de uma reorganização das estruturas cognitivas ou estruturas mentais. Isso significa que uma intervenção escolar mediada pelo professor deverá interferir diretamente nos conceitos já construídos pelos alunos. Trazendo também novos pensamentos ou novas formas de compreender uma mesma situação.

Ausubel define conceito:

[...] como objectos, acontecimentos, situações ou propriedades que possuem atributos específicos comuns e são designados pelo mesmo signo ou símbolo. [...] Os próprios conceitos consistem nos atributos específicos abstractos comuns a uma determinada categoria de objectos, acontecimentos ou fenómenos, apesar da diversidade das dimensões que não as que caracterizam os atributos específicos partilhados por todos os membros da categoria (AUSUBEL, 2003, p.2).

Esses conceitos são construídos inicialmente por meio da *aprendizagem por representação* e, “(...) em grande parte permanecem como pessoais e implícitos, ou seja, apresentam coerência do ponto de vista do indivíduo, mas não

necessariamente do ponto de vista científico.” (ALEGRO, 2008, p.27). A aprendizagem *representacional* é aquele tipo mais básico, onde o aluno formula os símbolos e as imagens simbólicas. Sabemos que as crianças quando bem pequenas não são capazes de formular conceitos, justamente porque ainda não tem uma representação mental dos objetos do mundo. A aprendizagem representacional é aquela onde o aluno é levado a formular esses novos conceitos, desenvolver a capacidade simbólica de abstração e formular imagens mentais sobre aquilo que ele vê e vivencia ao seu redor (AUSUBEL, 2003, p.88).

Na aprendizagem *de conceitos* ou aprendizagem conceptual (AUSUBEL, 2003, p. 84-85), o pensamento um pouco mais estruturado que na fase anterior já consegue ser dividido em categorias. Categorizar o pensamento é uma especialidade mental dos processos mais avançados de aprendizagem. As crianças em idade escolar já conseguem separar o pensamento em categorias, ou seja, já não tem o pensamento tão misturado, *sincrético*; isso significa que o aluno na fase de aprendizagem de conceitos consegue formular os conceitos (*formação de conceitos*<sup>6</sup>) muito melhor ao ligar os novos conceitos apresentados pelo professor aos anteriores já formados (*assimilação*<sup>7</sup>) justamente porque já possui a capacidade de representação elaborada, desse modo, já é capaz de conseguir buscar do meio outras ferramentas para continuar o seu processo de aprendizagem. (MOREIRA; MANSINI, 1982).

Na aprendizagem proposicional (AUSUBEL, 2003, p.85): “(...) a tarefa de aprendizagem significativa não consiste em apreender o que as palavras representam individualmente ou combinadas, mas antes apreender o significado de novas ideias expressas na forma proposicional”. Neste nível, o aluno já é capaz, além de especializar e separar o pensamento em categorias, de propor novas situações, de levantar hipóteses e fazer deduções. O pensamento do aluno nesta

---

<sup>6</sup> Na formação de conceitos, adquirem-se os atributos de critérios como uma consequência da experiência direta ao longo de fases sucessivas de formulação, experimentação e generalização de hipóteses (AUSUBEL, 2003, p. 92).

<sup>7</sup> A assimilação significa que um conceito anterior *a* (conceito subsunçor existente na estrutura cognitiva do aluno) somado a um novo conceito *A* (nova informação potencialmente significativa), gera como produto uma nova aprendizagem *aA* (produto interacional ou subsunçor modificado). O conhecimento anterior ligado ao conhecimento novo provoca uma modificação nas estruturas cognitivas do aprendiz, uma reorganização do conhecimento gerando uma nova aprendizagem (AUSUBEL, 2003, p. 105-106).

fase é mais abstrato e não precisa buscar no mundo concreto ou na separação específica de categorias as explicações para as questões oriundas do meio. Isto significa que o professor nesta fase não tem mais tanto trabalho para apresentar novos conceitos, pois, os alunos já são capazes de abstraí-los a partir de conceitos anteriores. E ainda, conseguem então formular suas próprias hipóteses e, até mesmo, suas próprias teorias de aprendizagens (MOREIRA; MANSINI, 1982).

A aprendizagem significativa proposicional admite ainda três variações de aprendizagens, são elas: a aprendizagem por subordinação, a aprendizagem por superordenação e a aprendizagem combinatória. A aprendizagem por subordinação pode ser: i) o que o aluno aprende é mais um exemplo daquilo que vê e se sabe, não trazendo qualquer alteração para a ideia mais geral à qual está relacionado (*derivativa*); ii) a nova ideia que se aprende é um exemplo que alarga o sentido/significado de algo mais amplo que já se sabe (*correlativa*) (PRÄSS, 2008). Nessa aprendizagem, ocorre a diferenciação progressiva “(...) processo de assimilação sequencial de novos significados, a partir de sucessivas exposições a novos materiais potencialmente significativos” (AUSUBEL, 2003, p. 106).

A aprendizagem por *superordenação* ocorre quando a nova ideia que se aprende é a mais inclusiva que permite o agrupamento de conceitos já conhecidos pelo aluno e o estabelecimento de novas relações entre eles (*reconciliação integradora*). Parte-se de conceitos e proposições mais gerais, apresentando em seguida a sua relação com os conceitos intermediários e finalizando com os mais específicos para então voltar, por meio de exemplares, a novos significados para os conceitos mais gerais na ordem hierárquica.

Já aprendizagem combinatória, acontece quando a nova ideia não está hierarquicamente acima nem abaixo da ideia já existente na estrutura cognitiva a qual ela se relacionou de forma não-arbitrária e lógica. Ou seja, a nova ideia não é exemplo nem generalização daquilo que se usou como âncora para ela na estrutura cognitiva do indivíduo (AUSUBEL, 2003. p.95).

A *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integradora* são dois dos princípios relativos à programação eficiente do conteúdo, independentemente da área de conhecimento (AUSUBEL et al., 1980, p.55). Além desses dois, temos: a

*organização sequencial* e a *consolidação*. Na organização sequencial, a disponibilidade de “ideias âncoras” relevantes para a retenção do conteúdo pode ser maximizada quando se aproveita a compreensão de um dado tópico da matéria de ensino, sequenciado estruturalmente, relacionado ao entendimento prévio do aluno a partir de outro tópico da matéria. Na consolidação, é necessário, antes de introduzir novos materiais, assegurar o sucesso na aprendizagem sequencialmente organizada a partir de confirmações de aprendizados, correção, práticas e exercícios de réplicas e reflexão.

O problema principal da aprendizagem consiste na aquisição de um corpo organizado de conhecimento e na estabilização de ideias inter-relacionadas que constituem a estrutura da disciplina. O problema, pois, da aprendizagem em sala de aula está na utilização de recursos que facilitem a passagem da estrutura conceitual da disciplina para a estrutura cognitiva do aluno, tornando o material significativo (MOREIRA; MASINI, 1982, p.25).

Se eu tivesse de reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator singular mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p.137).

Quando falamos de elementos facilitadores de aprendizagem, estamos nos referindo, por exemplo, aos recursos pedagógicos que estão sendo utilizados pelo professor em sala de aula. Os materiais didáticos apresentados pelos professores aos alunos são ferramentas que potencializam o processo de aprendizagem. Além do material, (AUSUBEL et al., 1980; AUSUBEL, 2003) colocam no rol dos elementos facilitadores de aprendizagem os *subsunçores*, que, pela própria explicação de Ausubel, temos nos elementos subsunçores os conceitos prévios trazido pelo aluno para a sala de aula. Entretanto, como o professor pode saber se já existe no aluno um elemento subsunçor construído? Segundo Ausubel, para que o professor possa dar continuidade ao processo de ensino/aprendizagem, é preciso que se encontrem os elementos subsunçores de cada aluno, já que são eles que dão base para o processo de aprender.

Quando esses conceitos prévios (subsunçores) não são encontrados, Ausubel recomenda o uso de *organizadores prévios* ou *organizadores avançados*, que nas palavras de Ausubel (2003, p.65-66) “(...) Estes organizadores avançados consistem no material introdutório a um nível mais elevado de abstracção, generalidade e inclusão do que a própria tarefa de aprendizagem.” A função do organizador é



proporcionar um suporte (ancoragem) para a nova aprendizagem e levar ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente. O uso de organizadores avançados é uma estratégia proposta por Ausubel para deliberadamente manipular a estrutura cognitiva do aprendiz a fim de facilitar a aprendizagem significativa.

A respeito das evidências de ocorrência de aprendizagem significativa, de acordo com Ausubel, a compreensão genuína de um conceito ou proposição implica na posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis (AUSUBEL, 2003, p. 130). Ausubel alerta-nos a respeito dos “problemas típicos”, onde estudantes, com uma longa experiência em fazer exames, se habituaram em memorizar proposições e fórmulas, causas e exemplos. Para se evitar a “simulação da aprendizagem significativa”, sugeri aos professores construir questões e problemas de uma maneira nova e não familiar que requeira a máxima transformação do conhecimento adquirido (MOREIRA; MANSINI, 1982). Desse modo, Ausubel orienta ao professor em auxiliar os alunos a assimilarem a estrutura da disciplina e a reorganizarem suas próprias estruturas cognitivas, mediante a aquisição de novos significados que podem gerar conceitos e princípios (PRÄSS, 2008). E ainda, a determinação da estrutura conceitual dos alunos; a identificação dos subsunçores; ou, a utilização de organizadores prévios, pois, são ferramentas importantes que favorecem o aprendizado significativo; proposição de atividades diferenciadas, se possível, de um mesmo conteúdo e o desenvolvimento de diferentes estratégias de ensino que levam os alunos a estruturar ou reestruturarem suas estruturas cognitivas. Somente dessa forma poderemos capturar ou conhecer aquilo que os alunos construíram como conhecimento.

Gowin; Novak (1996) estabelecem que a relação entre professor e aluno é um processo de negociação envolvendo materiais educativos com o objetivo de se estabelecer um compartilhamento de significados. Quando esse objetivo é alcançado, é necessário que ele manifeste uma disposição para relacionar de maneira substantiva e não-arbitrária o novo conteúdo a sua estrutura cognitiva (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p.159). Nessa relação, o professor não será um mero transmissor de conhecimento e o aluno um receptor de conteúdos. Ao contrário, ambos são responsáveis pela construção da aprendizagem. O papel do

professor será de mediador do processo, estimulando a participação e o trabalho colaborativo, a reativação dos conhecimentos prévios e orientando os estudantes a refletirem sobre eles para desenvolverem conceitos cada vez mais próximos daqueles aceitos cientificamente.

## 2.3 TRATAMENTO RASCH

É de grande importância analisar a qualidade dos instrumentos de coleta de dados utilizados em uma pesquisa. O Tratamento proposto por George Rasch pode fornecer informações preciosas tanto do instrumento como também de cada item que os compõe, além de fornecer informações sobre o entendimento dos estudantes que foram submetidos ao instrumento de coleta de dados (COELHO, 2011).

Rasch desenvolveu um modelo matemático probabilístico pautado na interação entre o objeto a ser medido (entendimento, habilidade, etc.) e o agente de medida (um teste, uma entrevista, etc.). Os modelos da família Rasch passam a utilizar dados observáveis de forma qualitativa ou quantitativa (por exemplo, a pontuação em uma prova) para construir medidas de grandezas não observáveis como o parâmetro de uma pessoa e o parâmetro de um item, produzindo, desse modo, medidas comparáveis (medidas em uma escala intervalar), que é vital para investigar mudanças ao longo do tempo, como é o caso do nosso estudo. No modelo de Rasch dicotômico, o mais familiar (MEAD, 2008), assume que a probabilidade ( $P_{ni}$ ) de uma resposta de um sujeito  $n$  seja correta em um item  $i$ , depende apenas da capacidade do sujeito ( $\beta_n$ ), e da dificuldade do item ( $\theta_i$ ).

$$P_{ni} \{x_{ni} = 1 / \beta_n, \theta_i\} = \frac{e^{\beta_n - \theta_i}}{1 + e^{\beta_n - \theta_i}}$$

Essa probabilidade é igual à base do logaritmo natural ( $e = 2,7183...$ ) elevada à diferença entre  $\beta_n$  e  $\theta_i$  e dividida pelo mesmo valor somado à unidade. Ela depende da diferença entre a habilidade da pessoa  $\beta_n$  (considerada como a qualidade que está sendo medida pelos itens) e a dificuldade do item  $\theta_i$ . Ambas são medidas numa mesma, conhecida por logit, contração de *log odds unit*.

Como temos o propósito de validar instrumentos para analisar a aprendizagem conceitual dos estudantes no domínio da Eletrodinâmica, as informações sobre os parâmetros dos itens e as estatísticas fornecidas pelo tratamento Rasch serão utilizadas para atender a esse propósito. Os modelos da família Rasch são utilizados para examinar especialmente a hierarquia entre as performances das pessoas ou dos itens que compõem um teste, apresentando em uma mesma escala logit, a proficiência das pessoas e a estimativa para a dificuldade dos itens. Esses modelos convertem uma escala ordinal em uma escala intervalar produzindo medidas comparáveis. Um fator associado à natureza desses modelos é que eles obedecem ao princípio da objetividade específica.

[...] objetividade porque ele permite fazer comparações entre os itens (de um teste) sem referência às pessoas e comparações entre as pessoas sem referência aos itens; específica para distingui-lo de todos os outros usos da palavra objetividade, mas também para salientar que esta propriedade uma vez satisfeita para um teste não pode ser estendida para todas as situações possíveis (MAIA, 2010, p.23).

Ainda segundo Maia (2010) a análise do tratamento Rasch não é para garantir a melhor descrição possível dos dados, mas de examinar quão bem os dados se ajustam ao modelo. Estabelece ainda que dois requisitos devem ser satisfeitos para garantir que a escala de mensuração reflita apenas valores para comparação de uma única variável latente: a unidimensionalidade e a invariância. Discutiremos a seguir.

### **2.3.1 UNIDIMENSIONALIDADE DE UMA ESCALA**

O princípio da objetividade específica e o princípio da unidimensionalidade são característicos dos modelos da família Rasch. O primeiro deles permite comparar o parâmetro da habilidade de pessoas sem fazer referência aos itens respondidos por elas, e ainda, assegura que o parâmetro dos itens independe da amostra que responde ao teste. O segundo permite verificar a qualidade das medidas e assegurar que a escala adotada meça os mesmos atributos ao longo dos itens.

A unidimensionalidade é a essência da mensuração. Ela consiste na exigência de que o instrumento esteja medindo apenas um construto, e não uma multiplicidade de construtos. A importância do modelo Rasch como método para a construção de escalas é devido, em grande parte, ao fato de que, ele pressupõe a unidimensionalidade dos dados (MAIA, 2010, p.24).

Linacre (2009) sugere que para garantir a unidimensionalidade da escala, a variância explicada na primeira dimensão seja maior que 50% ( $R^2 > 0,50$ ). O critério de invariância significa que um instrumento é obrigado a trabalhar da mesma maneira para todos objetos (pessoas) medidos em qualquer ocasião da mensuração (HAGQUIST et al., 2009).

### **2.3.2 ESTATISTICA INFIT**

Por meio da estatística INFIT/MNSQ extraída pela análise Rasch conduzida pelo software WINSTEPS (LINACRE; WRIGHT, 2000) é possível analisar a qualidade psicométrica dos itens, ou, em outras palavras, analisar o ajuste dos itens ao modelo. Segundo Linacre (2009), para esse ajuste, os valores encontrados entre 0.5 e 1.5 são considerados aceitáveis para a confiabilidade das medidas. Coelho (2011) sinaliza que o MNSQ corresponde à significância da qualidade dos itens do instrumento e considera o valor 1,0 (um) como o de um ajuste perfeito do item ao modelo. Podemos também analisar a complexidade dos conceitos transportados aos itens interpretando o parâmetro de dificuldade desses, e medir as proficiências dos estudantes através do parâmetro das pessoas. Os resultados desse tratamento serão apresentados nesse estudo.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

Antes de apresentar a perspectiva investigativa de ensino nas aulas, algumas questões foram levantadas e serviram como propulsoras:

- a) Poderia, diante da realidade escolar, desenvolver uma prática pedagógica diferenciada?
- b) Será que é possível desenvolver uma prática de cunho investigativo numa escola pública?
- c) Será que é possível desenvolver uma unidade de ensino que atenda a demanda da prática investigativa?

A partir das três questões levantadas iniciamos nosso trabalho na construção da Unidade Investigativa de Ensino da pesquisa. Nesse novo delineamento metodológico, adotamos uma estratégia de ensino que: i) apresentaria a Física de uma forma mais dinâmica; ii) envolveria atividades problematizadoras, ou seja, que atraísse a atenção dos estudantes para as aulas; iii) favorecia a participação individual e em grupo dos alunos. Assim sendo, a presente pesquisa temos como objetivo geral:

- Investigar e analisar as aprendizagens dos alunos em uma intervenção educacional com enfoque no ensino por investigação.

Os objetivos específicos foram:

- I. Desenvolver unidades de ensino investigativas com abordagem no domínio da Eletrodinâmica.
- II. Investigar a aprendizagem conceitual dos estudantes ao longo da intervenção educacional.
- III. Analisar as aprendizagens atitudinais e procedimentais adquiridas pelos estudantes durante a intervenção educacional.

### 3.2 INSTITUIÇÃO E SUJEITOS PARTICIPANTES

A presente investigação foi realizada na Escola Estadual de Ensino Médio Maria Ortiz, situada na Rua Francisco Araújo, nº 35, no centro de Vitória, Espírito Santo, Brasil. Os 67 sujeitos envolvidos na pesquisa pertenciam a três turmas do 3º ano do Ensino Médio, do turno vespertino, matriculados regularmente na instituição de ensino, no ano letivo de 2013. Os sujeitos tiveram a sua identidade preservada, não sendo divulgada nenhuma informação que possibilite a identificação dos mesmos. As informações fornecidas ao longo do estudo foram utilizadas somente para realização da pesquisa. A pesquisa realizada teve autorização dos responsáveis dos alunos a partir das assinaturas do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.



Figura 1: Escola Maria Ortiz, Cidade Alta, Centro, Vitória – ES (Fonte: internet).

Os estudantes de todas as turmas eram ensinados respeitando-se o mesmo programa de conteúdos e de atividades. O programa de conteúdos seguiam as orientações do CBC (Currículo Básico Comum) do Estado do Espírito Santo. Além do CBC, nos apoiamos nos PCNs e PCN+ do Ensino Médio (BRASIL, 1998, 2002). Segundo os PCNs, o conteúdo de eletricidade deve ser trabalhado em um dos temas estruturadores do ensino da Física denominado: “equipamentos elétricos e as telecomunicações”. Os parâmetros sugerem que o estudo da eletricidade deverá centra-se em conceitos e modelos da eletrodinâmica e do eletromagnetismo.

Dimensionar circuitos elétricos simples para sua utilização, compreender o significado das redes 110 V e 220 V, analisar o funcionamento das instalações elétricas, dimensionar o custo do consumo de energia elétrica em uma residência, conhecer os sistemas que geram energia (pilhas, baterias, geradores), são exemplos de conteúdos e habilidades previstos nos parâmetros que se desenvolvam nos estudantes.

Em atividades de sala de aula os estudantes do terceiro ano tinham o equivalente a uma carga horária de aproximadamente 2 horas semanais. Eram avaliados por diversos instrumentos, alguns dos quais eram comuns a todas as turmas e, além disso, alguns deles eram aplicados na mesma ocasião.

### 3.3 DESENHO DA INVESTIGAÇÃO

A pesquisa é de natureza quali quanti, apoiada em observações registradas em um diário de bordo, de registros em áudio e vídeo e de dados coletados ao longo de uma intervenção educacional com enfoque investigativo. A essência dos estudos longitudinais está na tentativa de fornecer evidências sobre mudanças nas pessoas ou na entidade ao longo do tempo (WHITE; ARZI, 2005). A coleta dos dados dessa pesquisa foi pautada no método de medidas repetidas, ou seja, instrumentos associados ao mesmo domínio de conhecimento foram aplicados para os mesmos sujeitos em diferentes momentos. Os testes e as observações utilizadas não precisam ser idênticos, mas comparáveis (COELHO, 2011).

Esse estudo longitudinal foi desenvolvido para investigar o ambiente de aprendizagem adotado (a relação pedagógica: professor-aluno, aluno-aluno, conteúdos-aluno, dentre outras) e a contribuição desse ambiente para o favorecimento das aprendizagens de conteúdos conceitual, procedimental e atitudinal dos estudantes.

Segundo Singer; Willett (2003) devem ser cuidadosamente considerados nos estudos longitudinais:

i) **A escolha da métrica do tempo: optamos por utilizar nesse estudo longitudinal**, como métrica do tempo, o número de aulas ministradas, em razão do currículo básico comum das escolas públicas e do planejamento adotado pelo professor; o estudo teve um total de 24 aulas com 10 sequências de atividades.

ii) **A escolha dos dados que mudaram sistematicamente no tempo.** Os dados foram coletados ao longo do estudo nas aulas de Física em forma de testes e nas atividades da Unidade Investigativa de Ensino. Para investigar a aprendizagem conceitual (evolução do entendimento dos estudantes no conteúdo) coletamos três ondas de dados por meio de testes desenvolvidos ao longo do estudo. Os outros dados foram coletados para investigar as atitudes e os procedimentos adotados pelos estudantes enquanto resolviam as atividades propostas. Utilizamos registros de um diário de bordo (anotações que realizamos enquanto os estudantes realizam as tarefas), e gravações em áudio e vídeo das aulas.

Em relação ao conteúdo conceitual, investigamos a evolução do entendimento dos conceitos de Eletrodinâmica dos estudantes ao longo da disciplina, bem como hipotetizar e discutir possíveis fatores que contribuíram para evolução. Sobre os conteúdos procedimentais e atitudinais, a análise foi pautada em um estudo de caso onde selecionamos alguns episódios de uma atividade desenvolvida com dois grupos de estudantes para investigar a forma como eles se portaram para resolver problemas de cunho investigativo (aprendizagem procedimental), e, as posturas relacionadas a atitudes e valores dos estudantes quando se trabalha numa perspectiva colaborativo-cooperativa (aprendizagem atitudinal).

### 3.4 PROPOSTA DIDÁTICA

Nesta proposta didática, para o ensino de Eletrodinâmica, apresentamos a concepção da Unidade Investigativa de Ensino que privilegia o ensino por investigação. A implementação das atividades representam uma mudança nos papéis usualmente desempenhados pelos alunos e pelo professor. Nas aulas, o foco passa a ser no que os alunos fazem e o professor orienta e facilita as ações para favorecer as aprendizagens. Outro aspecto relevante nesta intervenção relaciona-se com os materiais curriculares e seus usos, principalmente, no que se refere à



estrutura das atividades desenvolvidas. A Unidade dessa pesquisa tem como principal objetivo introduzir aspectos mais básicos do trabalho científico e estimular a reflexão dos estudantes sobre investigação científica e os elementos que são inerentes a essa forma de produzir conhecimento. Ao mesmo tempo, estamos avaliando o potencial/diferencial da Unidade com relação aos materiais didáticos existentes que tratam sobre o mesmo assunto a partir dos resultados obtidos nesse trabalho.

### **3.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ENSINO**

Uma Unidade de Ensino é um conjunto de atividades, estruturadas e articuladas para a consecução de um objetivo educativo em relação a um conteúdo concreto (ZABALA, 1998).

[...] constituída por um processo de ensino/aprendizagem, o qual o autor comporta a necessidade de identificar os principais componentes da mesma: o conteúdo da aprendizagem e o correspondente objetivo educativo, o papel atribuído ao professor e ao aluno, os materiais curriculares e seus usos, bem como os meios, momentos e critérios para a avaliação (ZABALA, 1998, p.179).

Faremos uma discussão de três componentes da Unidade trazida por Zabala (1998), são elas: (a) o conteúdo da aprendizagem e o objetivo de ensino; (b) o papel atribuído ao professor e ao aluno, e, (c) os materiais curriculares e seus usos.

#### **3.4.1.1 O Conteúdo da Aprendizagem e o Objetivo de Ensino**

O conteúdo curricular ganhou novas dimensões ao antigo entendimento do conceito do conteúdo. Passa a incluir, além da dimensão conceitual, as dimensões procedimentais e atitudinais (CARVALHO, 2009, p. 2-3).

A ideia de que o currículo escolar ganhou novas dimensões e que o conceito de “conteúdo” não se limita aos conhecimentos de caráter conceitual foram discutidos por vários outros autores (CARVALHO, 2009; AZEVEDO, 2004; GOMES; CRESPO, 2004; BORGES, 2002; ZABALA, 1998).

Segundo Zabala (1998) o conteúdo de aprendizagem não se limita aos conteúdos conceituais, embora, seja sem dúvida, aquele mais ensinado nas escolas. Além de incluir o conteúdo conceitual, passa a incluir os conteúdos procedimentais e atitudinais, ou seja, serão conteúdos de aprendizagens todos aqueles que

possibilitem o desenvolvimento das capacidades motoras, afetivas, de relação interpessoal e de inserção social. Segundo (COLL, 1986 apud ZABALA, 1998), esses agrupamentos de conteúdos podem ser de três tipos, de acordo com aquilo que os alunos devem *saber*, devem *fazer* e *ser*. As questões relacionadas ao “o que se deve saber?”, refere-se à aprendizagem de conceitos: os conhecimentos de nomes, princípios, enunciados e teoremas; a dimensão da aprendizagem procedimental refere-se ao “o que se deve fazer?”, integram as habilidades de somar, calcular, construir, associar, dentre outras; a dimensão da habilidade atitudinal refere-se ao “O que se deve ser?” – aprender a “ser” de determinada maneira: tolerantes, cooperativos, respeitosos, rigorosos.

Embora estejam definidas as tipologias de conteúdos, quando queremos ensinar ou nos deter nos aspectos conceituais, procedimentais ou atitudinais do trabalho a ser realizado é preciso levar em conta que todo conteúdo, sempre está associado e será aprendido junto com outros conteúdos de outras naturezas. Isso significa que a Unidade Investigativa de Ensino proposta nessa pesquisa, por mais específica que seja as atividades concretas em aula, não desenvolvem um tipo apenas de conteúdo, ao contrário, sempre integrará conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais. Entretanto, as atividades de aprendizagem são substancialmente diferentes segundo a natureza do conteúdo. Aprendem-se conteúdos conceituais de forma diferente dos conteúdos procedimentais e atitudinais. Por exemplo, situemos numa aula de Física e em uma unidade didática que faz referência aos materiais isolantes e condutores de eletricidade. Quando se estuda os metais e aprende que eles são bons condutores de eletricidade, estamos potencializando, e, portanto, desenvolvendo alguns conceitos, tais como: tipos de condutores, constituição dos metais, portadores de cargas, dentre outros. À medida que se melhora o domínio dos conceitos de condutores elétricos pode-se a ser levar em consideração os usos e aplicações dos condutores elétricos nos circuitos presentes nas residências ou na rede de distribuição de energia elétrica. A forma de propor as atividades de ensino será a que permita a máxima inter-relação entre os diferentes conteúdos (ZABALA, 1998). As formas de aprender os tipos de condutores elétricos não são as mesmas formas com que se concebe o significado de condutor elétrico, ou de isolante elétrico, que se chega a dominar o entendimento de condutores, nem que se

adquirem atitudes da importância dos condutores nas residências ou na distribuição de energia elétrica.

Segundo Miras (1996) existem dois critérios estruturantes para se ensinar conteúdos no âmbito escolar, são eles: i) selecionar o conhecimento prévio trazido pelo aluno à sala de aula (esse critério seria o conteúdo básico a ser explorado o qual se concentrará o processo de ensino e aprendizagem); ii) considerar os objetivos concretos que perseguimos em relação aos conteúdos e o tipo de aprendizagem que pretendemos que os alunos alcancem. Assim sendo, continuando com o nosso exemplo anterior, da unidade didática que faz referência aos materiais isolantes e condutores, podemos propor como objetivo que nossos alunos cheguem a estabelecer uma relação entre os vários tipos de condutores (condutores metálicos, eletrolíticos e gasosos) e sua utilização na tecnologia, ou, limitar-se a abordar o tema na perspectiva da prática experimental, por exemplo, classificar de uma lista de materiais os condutores e isolantes de eletricidade. Ao levar em consideração esses objetivos concretos, devemos explorar os aspectos relacionados aos conhecimentos prévios dos alunos (seu conhecimento sobre átomos, íons, elétrons livres, de materiais condutores e isolantes, e ainda, de sua utilização na tecnologia), e, selecionar que conhecimentos prévios atendem a cada uma das propostas. Por outro lado, podemos inferir que tipo de aprendizagem se espera que o aluno alcance, pois, nas duas formas de se abordar o ensino um ou mais domínios de conteúdos são potencializados nas ações dos estudantes para se chegar ao objetivo concreto. Desse modo, quando levamos em conta nossos objetivos, podemos selecionar de maneira precisa, que conhecimentos prévios são pertinentes e que tipo de aprendizagens podem ser adquiridas pelos estudantes.

#### **3.4.1.2 O Papel atribuído ao Professor e ao Aluno**

Uma prática de ensino que contemple uma abordagem de se ensinar as diferentes tipologias de conteúdos em sala de aula exige, sem sombra de dúvidas, uma mudança na postura do professor e do aluno.

[...] professores saibam construir atividades inovadoras que levem os alunos a evoluírem, em seus conceitos, habilidades e atitudes, mas é preciso também que eles saibam dirigir os trabalhos dos alunos para que estes realmente alcancem os objetivos propostos. O saber fazer nesses casos é, muitas vezes, em mais difícil do que o fazer (planejar a atividade) e merece

todo um trabalho de assistência e de análise crítica dessas aulas (CARVALHO, 2009, p.9).

Em uma atividade de ensino por investigação o professor assume um papel de facilitador do processo ensino aprendizagem. Diferente da postura de um professor centralizador, que serve de guia, que se limita a seguir os procedimentos pré-estabelecidos, que pouco participa das tomadas de decisões “do que e do por que” estão realizando as atividades. O professor facilitador orienta os estudantes em suas investigações e ainda incentiva os estudantes a refletirem os vários aspectos de suas investigações.

Os estudantes desenvolvem habilidades relacionadas à cultura científica e aprendem a resolver problemas: estruturar as etapas de resolução de um problema; buscar evidências para sustentar as ideias; levantar hipóteses para explicar o fenômeno; elaborar conclusões e relatar seus resultados (CARVALHO, 2009; AZEVEDO, 2004). Ao trabalharmos na perspectiva investigativa, devemos deixar de lado essa noção de que ocupamos esse lugar de detentor de saber e procurarmos estabelecer uma relação de mediador no processo ensino/aprendizagem. Os alunos são vistos como detentores e construtores do conhecimento e não mais como meros receptores de conteúdos – cabe a nós professores a tarefa de mediar o aprendizado científico, instigar a participação dos alunos (a partir de uma postura ativa) de modo a construírem o próprio aprendizado. Nas atividades colaborativas os estudantes explicitam seus conhecimentos prévios a respeito do problema, formulam e testam as hipóteses levantadas para a solução do problema e discutem seus resultados (SOUZA; COELHO, 2013).

#### **3.4.1.3 Os Materiais Curriculares e seus Usos**

No contexto de sala de aula, quando se fala de materiais curriculares esse é entendido como aquele que auxilia o professor no desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem. Os materiais são “todos aqueles instrumentos que proporcionam ao educador referências e critérios para tomar decisões, tanto no planejamento como na intervenção direta no processo de ensino/aprendizagem e em sua avaliação” (ZABALA, 1998, p.167).

Desse modo, utilizamos e desenvolvemos uma Unidade de ensino que contemple a abordagem do ensino por investigação. Esse material de desenvolvimento curricular, inserido na Unidade de Ensino Investigativa, é constituído de um texto conceitual sobre Eletrodinâmica, de atividades investigativas (práticas de laboratório, simulação ou de interpretação), e de Objetos<sup>8</sup> de Aprendizagens (animações, imagens, softwares e vídeos), de modo a tentar aumentar o envolvimento dos estudantes pelos estudos e propiciar momentos de aulas mais produtivos e instigantes. A Unidade foi concebida para esse âmbito de intervenção (sala de aula) de pesquisa, possui uma intencionalidade ou função (orientar, guiar, propor, divulgar) conforme os conteúdos (conceitual, procedimental e atitudinal) que desenvolvemos e conforme o tipo de suporte que utilizamos (quadro branco, vídeo, informática, multimídia, etc.). Ela constitui, portanto, o *produto de mestrado profissional* desenvolvido especificamente para esta pesquisa.

A Unidade é constituída por:

#### **a) Material instrucional dos estudantes**

O material instrucional desenvolvido foi produzido de materiais amplamente divulgados no meio acadêmico, e ainda, de outros preparados especialmente para atender aos novos tempos à prática do Ensino Médio nas escolas. O texto de apoio tem foco conceitual. Procuramos utilizar uma linguagem simples buscando ao máximo contextualizar o assunto abordado ao cotidiano do aluno mostrando a importância dos estudos da Física. Ele foi desenvolvido para preencher algumas lacunas do livro didático utilizado pelos estudantes. O livro didático (PENTEADO; TORRES, 2011) consultado faz um apanhado muito resumido dos assuntos relacionados na pesquisa. O texto é constituído de 5 capítulos que tratam de assuntos no domínio da Eletrodinâmica. Os temas abordados são: condutores (metálico, eletrolítico e gasoso), corrente elétrica, geradores de tensão, resistência elétrica e circuitos elétricos. Esses conteúdos constituem os fundamentos da Eletrodinâmica. Através deles, é possível dar sequência a outros conteúdos que não

---

<sup>8</sup> Objetos de aprendizagens no construto de Mike Sostericand & Susan Hesemeier. Artigo: **When is a Learning Object not an Object: A first step towards a theory of learning objects.**

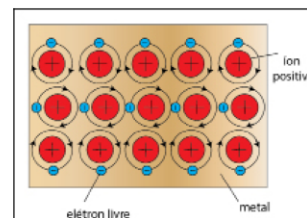
foram contemplados neste trabalho, por exemplo, o estudo dos capacitores e dos geradores elétricos. Na Figura 2 apresentamos parte do material referente a condutores e isolantes da Unidade de Ensino.

### 1. Condutores e Isolantes

Os elétrons de diferentes tipos de átomos têm diferentes graus de liberdade para se mover. Em alguns materiais, tais como os metais, os elétrons na extremidade dos átomos são tão frouxamente ligados que caoticamente deslocam-se no espaço entre os átomos devido à influência da temperatura ambiente ou até pelo calor. Os cientistas têm investigado a natureza dos metais, e nessa busca, concluiu que todos eles possuem propriedades semelhantes: todo metal é maleável, ou seja, podem ser moldados sem que se quebre; outra propriedade é o brilho ou o grau em que um metal brilhante reflete a luz (durante muito tempo apenas essas eram as propriedades conhecidas dos metais).

No século XVIII, os cientistas descobriram uma propriedade comum a todos os metais chamada de *condutividade*, ou capacidade de conduzir eletricidade. Cada átomo de um metal pode ser imaginado como um íon positivo<sup>1</sup> com um ou dois elétrons mais externos girando ao seu redor, não muito fortemente presos a ele. Quando temos um único íon positivo, isto é, um átomo em que falta apenas um elétron – ele cria uma energia potencial de atração com o elétron ausente. Colocando-se vários íons lado a lado, e adicionando a mesma quantidade de elétrons, produzimos um sistema eletricamente neutro, veja a **Figura 01**. Um elétron dentro do metal sofre ação de todos os íons e de todos os elétrons, exceto dele mesmo, contribuindo ele mesmo com uma energia potencial. Se um elétron é transferido de uma parte para a outra do metal, outros elétrons fluem ao seu redor para substituí-lo de maneira que eles tenham a mesma energia potencial em qualquer parte. Isso significa que não existe virtualmente força capaz de impedir que o elétron se mova livremente no metal. Mas além do limite do metal, não há mais íons ou outros elétrons para ajudar a contrabalancear essas forças. Assim para extrair um elétron do metal, é preciso uma força gigantesca capaz de criar um verdadeiro potencial elétrico e deixar o metal com uma carga resultante positiva.

<sup>1</sup> Quando o átomo perde um elétron.



**Figura 01:** representação de uma rede ordenada que pode ser a base de um metal. Os elétrons giram ao redor dos íons e trocam de posições aleatoriamente.

Como dissemos, quando dois átomos metálicos estão muito próximos, esses elétrons mais exteriores podem passar facilmente de um para o outro átomo. À medida que mais átomos vão sendo acrescentados, os elétrons podem se dispersar mais; esses elétrons móveis são conhecidos como elétrons de condução ou *elétrons livres* e são eles que dão aos metais algumas de suas propriedades especiais. Dessa forma, todos os metais são bons condutores elétricos.

Esta mobilidade relativa dos elétrons dentro de um material é conhecida como a *condutividade elétrica*. A condutividade é determinada pelo tipo de átomos em um material (o número de prótons no núcleo de cada átomo, determinando a sua identidade química) e como os átomos estão ligados um com o outro. Materiais com alta mobilidade de elétrons (muitos elétrons livres) são chamados de condutores, enquanto os materiais com a mobilidade de elétrons baixa (poucos ou nenhum elétron livre) são chamados isolantes.

Figura 2: Exemplo de parte do material instrucional da Unidade de Ensino

### b) Caderno com atividades investigativas

As atividades investigativas foram concebidas no intuito de promover o engajamento cognitivo/comportamental (COELHO; AMANTES, 2014) e a interatividade dos estudantes entre si. Elas foram apresentadas de acordo com o objetivo de ensino. Existem atividades de interpretações de textos, outras que envolvem atividades com experimentos reais, e ainda, atividades práticas com simulações. As atividades investigativas foram desenvolvidas na perspectiva de laboratórios abertos e questões abertas, na perspectiva adotada por Azevedo (2004):

[...] Uma atividade de laboratório aberto, como as outras atividades de ensino por investigação, a solução de uma questão, que no caso será respondida por uma experiência (p.27)

[...] Chamamos de questões abertas aquelas em que procuramos propor para os alunos fatos relacionados a seu dia-a-dia e cuja explicação estivesse ligada ao conceito discutido e construído nas aulas anteriores. (p.29).

As atividades investigativas são apontadas pelo potencial que possuem de estimular as interações entre os estudantes. Para potencializar o aspecto investigativo, algumas delas foram concebidas na perspectiva PIE – Predizer, Interagir e Explicar – do mesmo método proposto por (DORNELES; ARAÚJO; VEIT, 2012) e na perspectiva do Modelo dos 5Es proposto por (BYBEE et. al, 2006). Na perspectiva do Modelo dos 5Es inclui as seguintes fases: (a) envolver (engage); (b) explorar (explore); (c) explicar (explain); (d) estender (elaborate); (e) estimar (evaluate). Essas ações estão explicitadas na Quadro1.

Nas atividades do tipo PIE os estudantes num primeiro momento foram convidados a **predizer**, ou seja, fazer previsões sobre o fenômeno estudado. Nessa etapa, sem o auxílio do material instrucional ou de qualquer objeto de aprendizagem, os estudantes levantam hipóteses para a solução do problema. É uma oportunidade de fazer uma avaliação diagnóstica e de conhecer que concepções de prévias ou subsunçores eles possuem sobre o assunto. No segundo momento, os estudantes eram convidados a **interagir**. Por exemplo, numa atividade prática investigativa, os estudantes interagem com o aparato experimental – fazem medição, calculam, comparam resultados, testam se as hipóteses apresentadas anteriormente foram confirmadas. Por fim, na terceira parte da atividade, os estudantes devem **explicar** seus resultados e compará-los se existem ou não divergências nas respostas obtidas. Entendemos que a divulgação dos resultados de uma atividade investigativa é importante tal como no laboratório de Ciências.

No Modelo dos 5Es, cada etapa traduzem diversas ações, levados a cabo pelos estudantes. Essas ações são indicadas no Quadro 1. A fase **Envolver** possibilita chamar a atenção do aluno à atividade, estimular o seu pensamento e o acesso ao seu conhecimento prévio. Na fase **Explorar** os alunos são convidados: a pensar, investigar, resolver problemas e coletar informações.

Quadro 1: Modelos dos 5Es: O que o estudante faz? (BYBEE et. al, 2006)

Modelo dos 5Es	Indicações na atividade	O que o estudante faz?
Envolver	Observem: o esquema, a Tabela, o gráfico; Leiam o texto; Assistam ao vídeo.	Apresenta as questões como: “Por que isso acontece?”; “O que eu posso falar sobre isso?”; “O que eu posso encontrar sobre isso?”.
Explorar	Dissertem; Experimentem; Observem; Registrem as Observações;	Formula previsões e hipóteses; Testa previsões e hipóteses; Registra observações; Discuti os resultados com os colegas.
Explicar	Tirem conclusões; Divulguem os resultados.	Atenta-se às explicações do professor; Se atenta às explicações dos colegas; Avalia as falas dos colegas e levanta questões; Avalia as falas professor e levanta questões; Explica possíveis soluções baseadas em registros anteriores; Avalia sua compreensão.
Estender	Aplicam o conhecimento; Respondem questões; Generalizam o conteúdo.	Aplica as novas definições, explicações e capacidades em novas situações, generaliza os conteúdos num contexto próximo ao da atividade.
Estimar	Pensem sobre o trabalho que desenvolveram.	Avalia seu progresso e o seu conhecimento.

A fase **Explicar** permite aos alunos analisarem sua exploração. Nesta fase, é possível identificar a trajetória do desenvolvimento da atividade pelo estudante, se prestou atenção na fala do professor, na fala do colega; se avaliou essas falas de forma crítica e reflexiva; se as soluções apontadas para solucionar os problemas são baseadas em registros coletados, etc. Na fase **Estender**, expande e solidifica o pensamento do aluno de modo que é possível aplicar o conhecimento adquirido em situações do mundo real. E por fim, na fase **Estimar** permite ao professor *avaliar* o desempenho dos estudantes em relação aos entendimentos de conceitos, habilidades, processos e aplicações.

### c) Ferramentas Educacionais de Apoio

A utilização de recursos tecnológicos é um fator de motivação para o estudo da Eletrodinâmica. Essas ferramentas consistem de experimentos, software, applets e animações que auxiliam o aprendizado dos estudantes. Trouxemos nesse trabalho o construto de Objeto de aprendizagem, o mesmo trazido por (SOSTERIC;



HESEMEIER, 2002), quando nos referirmos às ferramentas tecnológicas. Segundo Sosteric; Hesemeier (2002), os objetos de aprendizagens devem conter dados, porém, mais do que um ficheiro de imagens e arquivos digitais, estes dados ou informações devem estar atreladas a uma teoria e a uma prática com fins pedagógicos. Devem ainda, internamente ou por associação sugerir contextos adequados para sua utilização. É importante também que possam ser utilizados como fontes de pesquisa; serem reutilizados e referenciados. Utilizamos nessa pesquisa alguns objetos de aprendizagem, tais como: vídeos, softwares e applets.

A Figura 3 mostra o esquema de um objeto de aprendizagem, o aplicativo Thomas Edison 4.0<sup>9</sup> utilizado para simular experimentos de eletricidade envolvendo geradores de diferentes voltagens, resistores e medidores elétricos. É possível, por meio desse aplicativo, investigar diferentes situações que envolvem o funcionamento de circuitos elétricos com associações em série e em paralelo, tanto de resistores como de geradores, e ainda, verificar a ocorrência de curto-circuito e discutir suas causas.

Além do Edison, na Figura 4 apresentamos outro exemplo de objeto de aprendizagem, um exemplo de applet que foi utilizado para simular circuitos elétricos com associações em série e em paralelo. Ele foi acessado no site [http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc). A grande vantagem da utilização desses recursos (applets, software e animações) é que podemos simular uma variedade de experimentos que não conseguimos demonstrar experimentalmente devido à falta de equipamentos no laboratório escolar.

---

<sup>9</sup> Edison 4.0 – Software simulador de experiências.



Figura 3: Principais elementos de circuitos elétricos.



Figura 4: Exemplo de um applet mostrando um circuito com lâmpadas.

Na vivência das escolas, as atividades experimentais são pouco frequentes. Os experimentos reais possibilitam “obter imagens de um fenômeno ainda não observado, aprender estratégias para lidar com os erros e incertezas inerentes ao processo de medição, procurar evidências de alguma relação entre grandezas envolvidas na situação, e outros” (BORGES, 2002, p.297). Essas abordagens experimentais auxiliam os estudantes a perceberem a diferença entre um circuito elétrico real e um circuito elétrico virtual em relação às grandezas apresentadas

teoricamente e, nem sempre os resultados obtidos utilizando modelos de circuitos ideais coincidem com a realidade.

### **3.4.2 ORGANIZAÇÃO DO AMBIENTE DE APRENDIZAGEM**

Praticamente todo tempo da aula de Física era dedicado para leitura de textos, discussão do texto com os colegas, resolução de atividades individuais ou em grupo. As atividades investigativas propostas eram realizadas em sala de aula (as experimentais ou de interpretação de texto) ou no laboratório de informática (utilizando software e applets). Ao longo do processo os estudantes trabalhavam em grupos compostos por 4 a 6 componentes. O agrupamento era feito pelos próprios estudantes e geralmente os grupos permaneciam inalterados.

Algumas ações exigiam um tempo para a leitura dos textos, gastando em média entre 10 a 15 minutos. Em seguida, os estudantes realizavam as atividades investigativas mediadas por mim, que em algumas situações poderiam ser realizadas em grupo e em outras deveriam ser realizadas individualmente. O número de atividades variava de uma aula para outra e a sequência era comum a todas as turmas. A proposta didática consta de uma sequência de 10 atividades, desenvolvidas ao longo de vinte e quatro aulas da Unidade Investigativa de Eletrodinâmica, desde o início de Abril de 2013 até final de Julho de 2013. A Figura 5 ilustra a organização sequencial das atividades implementadas ao longo do estudo longitudinal. As atividades propostas eram intercaladas com aulas expositivas e possuíam graus de aberturas de investigação diferenciados (BORGES, 2002). Tivemos em nossa unidade de ensino atividades que demandavam duas ou três aulas para serem concluídas, enquanto outras, uma aula era suficiente. As aulas expositivas serviam para tirar as dúvidas em relação aos conteúdos desenvolvidos ao longo das atividades. Eram utilizadas também para resolvermos problemas teóricos e numéricos. Além dessas aulas, tiveram outras no período para realizações de provas ou de testes.

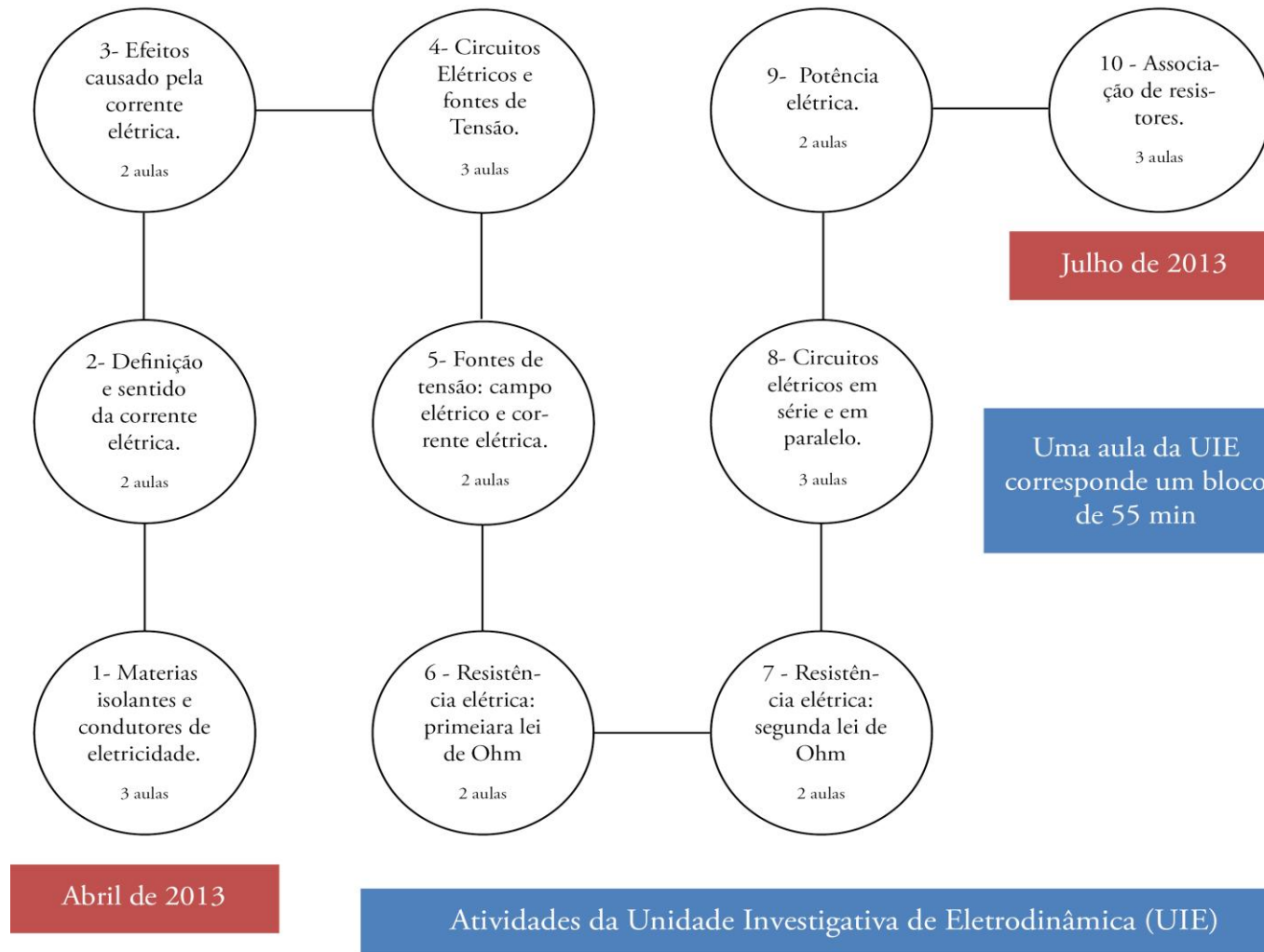


Figura 5: Organização sequencial das atividades implementadas ao longo do estudo longitudinal.

### 3.5 COLETA DOS DADOS

Os dados coletados para essa pesquisa têm origem nas atividades de Física realizadas pelos estudantes durante as aulas da Unidade Investigativa de Ensino. As atividades foram utilizadas para fornecer evidências sobre a aprendizagem conceitual (evolução do entendimento), procedimental e atitudinal dos estudantes. Explicitaremos os métodos de recolha de dados.

#### 3.5.1 INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA COLETA DOS DADOS

A coleta dos dados aconteceu apenas nas atividades de sala de aula. As três ondas de dados referentes a investigação da aprendizagem conceitual (evolução do entendimento dos estudantes) ocorreram em forma de teste – os estudantes individualmente e sem consultar os materiais didáticos, realizaram três testes.

As ondas de dados referentes a investigação da avaliação do processo (aprendizagem procedimental e atitudinal) também ocorreram na sala de aula (a escola não possui laboratório de ciências). As atividades foram realizadas em grupo compostos de 3 a 6 componentes. Gravamos em áudio e vídeo as aulas enquanto os estudantes realizavam as atividades. Coletamos informações do processo em um diário de bordo que auxiliou nas análises desses dados.

##### 3.5.1.1 Dados Utilizados para a Análise da Aprendizagem Conceitual

Para atender a esse requisito, a investigação foi desenhada com três ondas (como sugerido por Singer; Willet (2003) nos estudos longitudinais). Para investigar a aprendizagem conceitual, todos os 67 estudantes envolvidos na pesquisa realizaram uma mesma atividade (consistia de uma questão aberta apresentada na Figura 6) aplicada em três momentos ao longo da intervenção educacional.

A primeira vez que a questão foi aplicada (4ª aula), solicitamos aos estudantes que dissertassem levando em conta seus conhecimentos sobre o assunto abordado. A avaliação das respostas nesse primeiro momento serviu-nos de guia para orientar nossa prática uma vez que foi possível identificar os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito dos assuntos abordados na questão. Os conhecimentos

prévios constitui o fator isolado mais importante que influi na aprendizagem (AUSUBEL, 2013).

A atividade foi aplicada novamente pela segunda vez um pouco depois da metade do estudo longitudinal (14ª aula) e a terceira vez ocorreu no final do estudo (24ª aula). O fato de a questão ser aberta possibilitou novas demandas de respostas à medida que os conteúdos eram desenvolvidos na sala de aula. A questão foi aplicada individualmente e sem consulta ao material da Unidade.

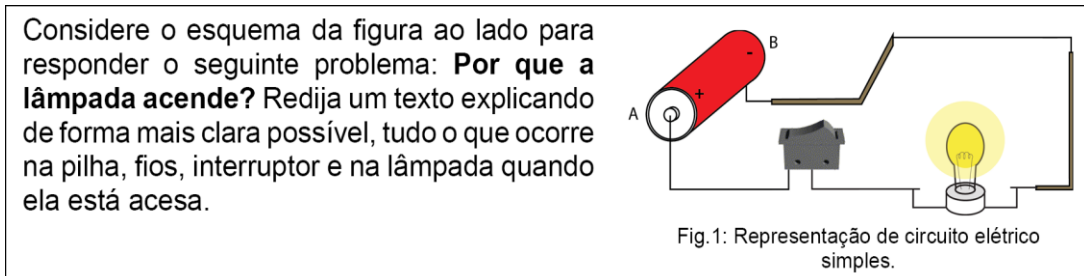
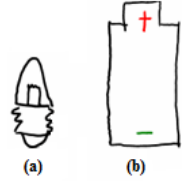


Figura 6: Teste aplicado em diferentes momentos da intervenção educacional.

### 3.5.1.2 Dados Utilizados para Análise da Aprendizagem Procedimental e Atitudinal

Nesse estudo coletamos dados para analisar as dimensões atitudinais e procedimentais dos estudantes ao longo de toda intervenção, entretanto, resolvemos aprofundar na interpretação dessas dimensões em uma atividade específica. Para a construção dos indicadores de aprendizagem procedimental e atitudinal, os estudantes realizaram uma atividade investigativa do tipo experimental na perspectiva de laboratório aberto (Quadro 2). Ela foi dividida em duas partes, foi desenhada na perspectiva do modelo do 5Es (parte 1) e na perspectiva PIE (parte 2). Ela foi planejada para ser realizada em 2 aulas (110 min). Enquanto os estudantes a desenvolviam, contavam com meu apoio no sentido de sanar as dúvidas que apareciam ao longo da intervenção; dúvidas relacionadas ao entendimento do problema a ser investigado, ao uso dos termos físicos relacionados ao fenômeno, dentre outras. No entanto, a planificação da solução do problema ficava a encargo dos grupos.

Quadro 2: Atividade desenvolvida com os estudantes para avaliar o processo de ensino.

Atividade circuito elétricos simples	
<p><b>(Parte 1)</b> Os materiais utilizados nesta experiência são: um fio, uma pilha e uma lâmpada. Pegam o pedaço encapado de fio de cobre e sua ponta é desencapada. Utiliza-se uma pilha nova alcalina, tamanho pequeno (AA), que gera entre seus pólos uma diferença de potencial de 1,5 volts = 1,5 V. Utiliza-se também uma pequena lâmpada de lanterna que acenda com 1,5 volts.</p>  <p>Fig. 1: Representação sugerida que seja utilizada para a (a) lâmpada e (b) para a pilha.</p> <p>A figura 6 acima representa os modelos de lâmpada e pilha que vocês deverão utilizar para esboçar os esquemas. <b>Só utilize o material quando permitido pelo professor.</b></p>	<p><b>a)</b> Esboçe, pelo menos, quatro formas diferentes de acender a lâmpada se fosse utilizado o material descrito.</p> <p><b>b)</b> Utilize a pilha, a lâmpada e o fio para verificar se suas previsões estavam corretas. Se um ou mais dos esquemas apresentados não funcionarem, continue tentando, até encontrar quatro maneiras diferentes de acender a lâmpada. No final, vocês deverão apresentar seus esboços originais, inclusive aqueles que não tiveram sucesso e explicar se funcionou ou não.</p> <p><b>c)</b> Escolha um membro do grupo para desenhar no quadro um esboço de uma das formas utilizadas para acender a lâmpada e explicar.</p> <p><b>d) (Atividade para casa)</b> Faça uma lista de todos os itens utilizados em sua casa que funciona na eletricidade. Faça a representação do circuito de pelo menos três itens e entregue na próxima aula.</p>
<p><b>(Parte 2) – Responda a questão 2 antes de fazer qualquer outra montagem.</b></p> <p>2) O que aconteceria ao brilho da lâmpada se você estivesse usando uma pilha palito (AAA) ou a pilha média (C) em lugar da pilha pequena (AA)? Explique seu raciocínio.</p> <p>3) Monte o circuito usando a pilha palito (AAA) e a pilha média (C) em lugar da pilha pequena (AA). Sua previsão sobre o brilho da lâmpada estava correta? Descreva e explique o que você notou.</p> <p>4) O tamanho da pilha tem influência sobre o brilho da lâmpada? Explique seu raciocínio.</p>	

Na primeira parte foi lançado um desafio aos estudantes: esboçar/montar quatro formas diferentes de acender uma lâmpada utilizando um pedaço de fio e uma pilha. Antes de iniciar a atividade, conseguimos *envolver* o estudante a participar. A forma como foi desenhada motivou e favoreceu a participação dos estudantes. Enquanto passava alguns comandos para iniciar a atividade, alguns já estavam lendo, desenhado, explorando. A fase *exploração* ocorreu em duas partes. No item (a) enquanto desenhavam os esquemas; e no item (b), enquanto interagiam com o aparato experimental. Nessa fase muitos eventos estavam acontecendo: suas concepções prévias (conceitual, procedimental e atitudinal) eram reveladas; a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora dos conteúdos; a reestruturação de conceitos e a formação de novos, dentre outros. No item (c), referente à fase *explicar*, os estudantes deveriam tirar as conclusões e divulgar os

resultados obtidos. Na fase *estender* (item d), solicitamos que os estudantes generalizassem os conteúdos aprendidos na atividade e que elaborassem esquemas de circuitos utilizando como elementos os aparelhos elétricos (circuito residencial). Em nossas análises, preferimos investigar somente as atividades desenvolvidas nas aulas, desse modo, o *item d* não foi analisado nesse trabalho. A fase *estimar* ocorreu numa aula subsequente em uma avaliação.

Na segunda parte da intervenção, os estudantes deveriam, referente à questão 2, *prever* o que aconteceria ao brilho da lâmpada se trocasse a pilha (AA) por outras de tamanhos diferentes. Eles discutiriam, levantariam hipóteses para resolver o problema. Na questão 3 os estudantes *interagiram* com o aparato experimental, testariam as hipóteses levantadas, comparariam resultados, dentre outras ações. E por fim, na questão 4 os estudantes *explicariam* seus resultados e comparariam se existem ou não divergências nas respostas obtidas. Entendemos que a divulgação dos resultados de uma atividade investigativa é uma dimensão importante do processo de construção e validação do conhecimento científico, ou seja, é uma dimensão importante do fazer ciência.

Utilizamos nesse estudo, três instrumentos de coleta de dados nos grupos investigados: o diário de bordo, gravações em áudio e gravações em vídeo. Esses instrumentos foram utilizados para favorecer a investigação das aprendizagens procedimentais e atitudinais dos estudantes enquanto realizavam a atividade proposta no Quadro 2.

Os registros no diário de bordo ocorreram com a anotação de informações durante o desenvolvimento da atividade, a partir da observação. Bailey (1990, p.215) conceitua diário como “um relato em primeira pessoa de uma experiência de ensino ou de aprendizagem, documentada através de registros sinceros e regulares num diário pessoal que será depois analisado à procura de padrões recorrentes ou eventos discrepantes”. O diário de bordo tem como objetivo tornar possível a avaliação de alguns quesitos que geralmente não são contemplados em uma avaliação comum. É possível também, com esse instrumento, identificar os fatores pertinentes que possam influenciar a aprendizagem dos estudantes.



Esse instrumento se difere muito dos outros, como ferramenta avaliativa principalmente pelo caráter mais informal. Nele, registrei interjeições, atitudes fora da experimentação, falas de alunos ou conversas paralelas, ou seja, tudo aquilo que não é contemplado em uma avaliação formal, mas que pode influenciar no processo.

Além do diário de campo, fizemos gravações em vídeo e gravações em áudio dos grupos durante o processo de resolução dos problemas propostos na atividade investigativa. Uma câmera filmadora registrou os grupos investigados em áudio e vídeo. O microfone da câmera captou o áudio geral. Gravadores registraram o áudio de cada grupo participante, separadamente. O registro em áudio e vídeo nos permitiu assistir por diversas vezes às aulas em que a atividade investigativa foi desenvolvida. Isso nos possibilitou observar acontecimentos que nos escaparam durante a observação em sala de aula. Além disso, apareceram acontecimentos que só puderam ser observados quando assistimos as gravações por mais de uma vez.

O diário de bordo nos auxiliou na definição do material que foi analisado. Ele também nos ajudou a esclarecer dúvidas que surgiram enquanto assistimos as gravações em áudio e vídeo durante o processo de análise dos dados. As ferramentas de coleta de dados utilizadas nessa pesquisa têm como objetivo servir de base para investigar: o modo como os estudantes se relacionam com as atividades propostas; a organização deles durante o processo de resolução dos problemas; as discussões dos estudantes entre si e as discussões dos estudantes intermediadas pelo professor. A análise dessas informações será apresentada em outra seção.

### **3.5.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS**

Nessa seção descreveremos os métodos utilizados para analisar os dados obtidos ao longo do estudo longitudinal. A análise referente à aprendizagem conceitual dos estudantes se dará mediante ao tratamento Rasch a partir do sistema categórico estabelecido por Coelho (2011) para responder a questão: “Por que a lâmpada acende?” (apresentada na Figura 5 da seção 3.5.1.1). Na análise referente às aprendizagens procedimentais e atitudinais dos estudantes na atividade “circuito

elétrico simples”, apresentada na seção 3.5.1.2, utilizaremos alguns autores para dialogar com os nossos dados: Pozo; Gomez-Crespo (2009) e Zabala (1998).

### 3.5.2.1 Método de Análise dos Dados para Investigar a Aprendizagem Conceitual

#### 3.5.2.1.1 A construção do Sistema Categórico

Quadro 3: Sistema categórico estabelecido por Coelho (2011).

<b>Diferença de potencial nos polos da fonte</b>
DDP1 - O estudante entende a pilha como fonte de algo (energia, corrente, carga) que pode fluir no circuito.
DDP2 - O estudante entende a pilha como fonte de energia para o circuito, mas não reconhece a existência de uma diferença de potencial entre os seus terminais.
DDP3 - O estudante entende a pilha como fonte de energia para o circuito e menciona a existência de uma diferença de potencial entre os seus terminais.
DDP4 - O estudante entende a pilha como fonte de energia para o circuito, menciona a existência de uma diferença de potencial entre os seus terminais e evidencia as transformações de energia que ocorrem em seu interior (energia química em energia elétrica).
<b>Força eletromotriz</b>
Fem1 - O estudante sugere que a pilha exerce influência sobre as cargas que a atravessam.
Fem2 - O estudante considera que a pilha exerce influência sobre as cargas que a atravessam e, essa influência, está associada a energia transferida ou trabalho realizado pela fonte.
<b>Campo elétrico</b>
Ce1 - O estudante pressupõe que um campo elétrico é estabelecido no circuito.
Ce2 - O estudante pressupõe que um campo elétrico é estabelecido no circuito e o associa ao surgimento da corrente elétrica.
<b>Emissão de luz (a) (fenômeno da incandescência)</b>
EL1a - Para explicar o fenômeno da incandescência, o estudante considera que a lâmpada emite energia na forma de luz ou na forma de calor.
EL2a - Para explicar o fenômeno da incandescência, o estudante considera que a lâmpada emite energia na forma de luz e na forma de calor.
EL3a - Para explicar o fenômeno da incandescência, o estudante considera que a energia elétrica é convertida (via efeito Joule) em energia luminosa e calor.
<b>Emissão de luz (b) (Transformações de energia na lâmpada)</b>
EL1b - O estudante considera que a lâmpada emite energia na forma de luz e calor, devido a passagem da corrente elétrica em seu filamento.
EL2b - O estudante considera que a lâmpada converte energia elétrica em energia luminosa, devido a passagem da corrente elétrica em seu filamento.
EL3b - O estudante considera que a lâmpada converte energia elétrica em energia luminosa e calor, devido a passagem da corrente elétrica em seu filamento.
<b>Corrente elétrica como fluxo de cargas elétricas</b>
FCE1 - O estudante entende corrente elétrica como algo que flui pelo circuito.
FCE2- O estudante entende corrente elétrica como fluxo de carga elétrica no circuito.

FCE3 - O estudante entende corrente elétrica como fluxo de elétrons no circuito.
FCE4 - O estudante entende corrente elétrica como fluxo de elétrons livres do circuito.
FCE5 - O estudante entende corrente elétrica como fluxo de elétrons livres do circuito e como meio de transporte de energia.
<b>Resistência elétrica</b>
R1 - O estudante sugere que existe uma resistência elétrica no circuito.
R2 - O estudante considera que existe uma resistência elétrica no circuito.
R3 - O estudante considera que existe uma resistência elétrica no circuito e a associa à oposição ao fluxo da corrente elétrica.
R4 - O estudante considera que existe uma resistência elétrica no circuito, associando-a a oposição ao fluxo da corrente elétrica e dependente das propriedades do material e da densidade de carga elétrica.

Para a análise das respostas dos estudantes, foi utilizado um sistema categórico do tipo rubrica, o mesmo utilizado por Coelho (2011). Nesse sistema, o autor (orientador desse trabalho) propõe sete temas no domínio da Eletrodinâmica que responde a questão: “Por que a lâmpada acende?” de forma mais abrangente. Os temas são: (1) Diferença de potencial entre os pólos da fonte; (2) Força eletromotriz; (3) Campo elétrico; (4) Emissão de Luz: fenômeno da incandescência; (5) Emissão de Luz: transformação de energia na lâmpada; (6) Corrente elétrica como fluxo de carga elétrica e (7) Resistência elétrica. É importante saber que o entendimento mais complexo evidenciado em um determinado tema, não necessariamente corresponde ao sistema de explicação mais sofisticado encontrado na Física (COELHO, 2011). O sistema categórico é apresentado no quadro 3.

#### *3.5.2.1.2 Transformação dos Dados para a Análise Rasch*

O processo de transformação de dados qualitativos em dados dicotômicos (dados quantitativos) ocorreu a partir da leitura da questão dissertativa proposta. A leitura das respostas dos estudantes foi realizada para elencar os principais temas envolvidos em suas explicações na resolução das questões. Para entendermos como desenvolvemos as análises, tomamos como exemplo, o tema “Diferença de potencial nos pólos da fonte” do sistema categórico utilizado. As concepções (DDP1, DDP2, DDP3 e DDP4) desse tema obedecem a uma relação acumulativa de modo que cada entendimento (por exemplo, DDP4) aumenta a complexidade em relação ao item anterior (DDP3), e assim sucessivamente.

Tabela 1: Exemplo da transformação de dados categóricos em um sistema de dados dicotômicos.

	<b>Diferença de potencial nos pólos da fonte</b>			
<b>Estudante</b>	<b>DDP1</b>	<b>DDP2</b>	<b>DDP3</b>	<b>DDP4</b>
E502	1	1	1	1

Desse modo, para a construção do sistema de itens dicotômicos dessa pesquisa, por se tratar de uma escala acumulativa, o estudante que possui a concepção DDP4 (que corresponde ao entendimento mais sofisticado do tema Diferença de potencial nos pólos da fonte), será pontuado com nota 1 nessa categoria e também com nota 1 nas outras categorias que a antecedem (Tabela 1). Uma nota zero significa que o estudante não apresentou as concepções utilizadas no sistema categórico.

Em relação ao sistema categórico adotado, em um trabalho recente, Coelho; Amantes (2014) afirmam que: “(...) os entendimentos mais sofisticados presentes nas categorias de maior complexidade subsumem entendimento menos sofisticados presentes nas categorias de menor complexidade” (p.59). Para justificar o sistema categórico adotado para investigar a aprendizagem conceitual dos estudantes, é importante destacar que Ausubel defende a ideia de que o aprendizado (formação de conceitos) é altamente organizado, formando uma hierarquia conceitual na qual, elementos mais específicos de conhecimentos são ligados e assimilados a conceitos mais gerais, mais inclusivos (AUSUBEL et al., 1980; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 1999). Podemos então sugerir que a concepção num nível mais sofisticado de entendimento “DDP4” poderia representar um conceito próximo ao do mais geral, enquanto, um entendimento menos sofisticado “DDP1” representaria um conceito pouco inclusivo, específico do conhecimento. As DDP2 e DDP3 representariam conceitos em um nível intermediário.

A partir das leituras reflexões dos textos dos estudantes foi gerada uma matriz binária referente às três ondas de dados (transformação dos dados qualitativos para dados quantitativos). Para o tratamento dos dados pelo modelo Rasch, utilizamos o programa computacional WINSTEPS (LINACRE; WRIGHT, 2000).

### 3.5.2.2 Método de Análise dos Dados para Investigar a Aprendizagem Procedimental e Atitudinal

O desenvolvimento de uma atividade investigativa (dividida em duas partes) gerou os dados dessa parte do estudo. Adotamos algumas estratégias para reduzir o material coletado (o tempo disponível não era compatível com o tamanho do trabalho) para ser analisado no estudo de caso. Excluímos do estudo os grupos que apresentaram um dos seguintes problemas: (a) ausência de um dos membros do grupo nas atividades; (b) mudanças constantes na composição do grupo; (b) grupos que pouco trabalhava colaborativamente para solucionar os problemas.

Para o estudo de caso, passamos a trabalhar com 2 grupos compostos por 5 e 6 estudantes (11 participantes). Na tabela 2, apresentamos o sistema de identificação que atribuímos a esses grupos. Denominamos dois grupos de M e N. O grupo G1 pertencia à turma M e estão acompanhados dos estudantes pertencente a esse grupo, e, grupo G2 pertencia à turma N e estão acompanhados dos estudantes pertencentes a esse grupo. Os códigos desses estudantes coincidem com o do utilizado no tratamento Rasch. Trata-se dos mesmos sujeitos. Preferimos identificá-los por códigos para preservar as identidades dos participantes.

Tabela 2: Relação dos grupos participantes do estudo.

<b>Turma</b>	<b>Grupo</b>	<b>Código dos estudantes</b>
M	G1	E721, E726, E704, E702 e E709
N	G2	E513, E503, E502, E516, E525 e E528

A justificativa para a construção do estudo de caso veio da necessidade de se analisar alguns episódios desse processo, de analisar como os estudantes se relacionaram com as atividades propostas, como se organizaram durante a resolução dos problemas, as discussões dos estudantes entre si e as discussões dos estudantes intermediadas pelo professor.

A atividade selecionada para investigar as aprendizagens procedimentais e atitudinais dos estudantes é a denominada “Circuitos Elétricos” discutida na seção 3.4.1.2. Ela estava dividida em duas partes. Os problemas na atividade foram delimitados de maneira clara por um conjunto de desafios e tarefas. Os desafios são

as perguntas apresentadas no roteiro com o objetivo de estimular a reflexão sobre os problemas que lhes foram apresentados. As tarefas são instruções escritas no roteiro que os estudantes tiveram que observar durante o processo de resolução dos problemas.

De acordo com Mortimer et al. (2007) um episódio é definido: “[...] Como um conjunto coerente de ações e significados produzidos pelos participantes em interação, que tem início e fim claros e que pode ser facilmente discernido dos episódios precedentes e subsequentes” (p. 61). A definição dos episódios foi bastante facilitada já que existem dois períodos na atividade em que o conjunto de ações e significados produzidos pelos estudantes se distingue claramente uns dos outros.

Identificamos os seguintes episódios na atividade “Circuitos Elétricos Simples”:

- Episódio 1 – **O problema de acender uma lâmpada (Parte 1)**: atividade na perspectiva do 5Es. Nesse episódio os estudantes deveriam: (i) desenhar os circuitos que funcionaram e os que não funcionaram, (ii) montar os circuitos simples com apenas uma lâmpada, um fio e uma pilha a fim de acendê-la; (iii) explicar por que os circuitos funcionaram ou não funcionaram.
- Episódio 2 – **Investigar o brilho da lâmpada (Parte 2)**: atividade na perspectiva PIE. Nesse episódio os estudantes previram, interagiram e explicaram sobre o brilho de uma lâmpada quando ligada a pilhas de tamanhos diferentes.

#### *3.5.2.2.1 Análises dos conteúdos/aprendizagens de atitudes*

Os chamados conteúdos atitudinais, que versam sobre a mudança de comportamento e de valores, são os mais gerais e transversais do currículo e constituem uma das principais dificuldades para o ensino e a aprendizagem de ciências porque não são ensinados. Na maioria das disciplinas esses conteúdos não estão explícitos. Eles podem fluir dentro de cada disciplina, mas não são de responsabilidade de nenhuma delas. Devido a essa volatilidade, são conteúdos difíceis de serem sequenciados e fragmentados com os demais. Sobre a inserção deles no currículo, Pozo;Gomez- Crespo (2009) explicam:

Sua inclusão no currículo deve ser baseada em um tratamento continuado, em ter presente em todo momento, como objetivo educacional, a necessidade de desenvolver certos valores, mais do que a realização de atividades pontuais de “ensinar” certas atitudes, embora estas possam ser necessárias (p. 31).

Segundo Pozo; Gomez-Crespo (2009), o desenvolvimento dos conteúdos atitudinais pode auxiliar o aluno em três esferas: (a) com respeito à ciência; (b) em relação à aprendizagem e; (c) em relação ao posicionamento frente às implicações sociais das ciências. A esfera (b) contempla como os nossos objetivos de investigação e será apresentada no Quadro 4.

As atitudes **com respeito à ciência** precisam ir além da visão positivista e estática presentes nos currículos tradicionais. É fundamental a criação de hábitos nos alunos referentes à reflexão, à crítica e à análise. O aluno precisa se aproximar do conhecimento científico e entendê-lo como um bem que é construído socialmente. Segundo Pozo; Gomez-Crespo (2009), é ver “as ciências mais como uma forma de fazer perguntas do que como uma resposta já dada” (p.37). Esse entendimento é um dos pressupostos da perspectiva do ensino por investigação e já foi discutida por outros autores (CARVALHO, 2009; AZEVEDO, 2004; CACHAPUZ et al, 2011; POZO; GOMEZ-CRESPO (2009); ZABALA, 1998). É necessário que o aluno valorize a abordagem científica de um problema para compreender melhor a natureza da ciência, aceitando suas limitações, e, que identifique suas diferenças em relação aos discursos não-científicos, derivados do saberes não-científicos.

Quadro 4: Pozo; Gomez-Crespo (2009, p. 38).

<b>Atitudes que devem ser promovidas entre os alunos com o ensino de ciências</b>	
<b>Atitudes com respeito à ciência (atitudes científicas)</b>	
Interesse por aprendê-la	Motivação intrínseca Motivação extrínseca
Atitudes específicas (conteúdos)	Gosto pelo rigor e precisão no trabalho Respeito pelo meio ambiente Sensibilidade pela ordem e limpeza do material de trabalho Atitude crítica frente aos problemas apresentados pelo desenvolvimento da ciência
<b>Atitudes com respeito à aprendizagem da ciência</b>	
Relacionadas com o aprendizado	Enfoque superficial (repetitivo) Enfoque profundo (busca de significados)
Relacionadas com o autoconceito	Conduta Intelectual

	Social
Relacionadas com os colegas	Cooperativa em oposição à competitiva Solidariedade em oposição ao individualismo
Relacionadas com o professor	Modelo de atitude

As atitudes **com respeito à aprendizagem da ciência**, os autores explicam que constituem um objetivo diferente. A ideia é que o aluno conceba essa aprendizagem como um processo construtivo, mas que aprenda também de modo construtivo, ou seja, adotando um enfoque profundo “aprendendo na busca do significado e do sentido, e não só repetindo” (POZO; GOMEZ-CRESPO, 2009, p.38). Para isso, é necessário que o aluno saia da posição de mero replicador de conteúdos, de aluno que só escuta e copia do quadro. Mas que se interesse pela Ciência, que a valorize e que perceba que embora esse tipo de conhecimento requeira um esforço cognitivo deliberado (AUSUBEL, 2003), é possível apreendê-la, ou seja, produzir um autoconceito positivo com respeito à ciência.

#### 3.5.2.2 Análises dos conteúdos/aprendizagens procedimentais

Os conteúdos procedimentais ou *procedimentos* são ações ordenadas que tem como objetivo levar o aluno a *fazer* para conseguir superar as dificuldades. Desse modo, “(...) o ensino de ciências precisa adotar como um dos seus objetivos prioritários a prática de ajudar os alunos a aprender a fazer ciência, em outras palavras, ensinar alunos procedimentos para as aprendizagens de ciências” (POZO; GOMEZ-CRESPO, 2009, p.47).

Embora o conteúdo procedimental já tenha sido definido, para estabelecer a distinção entre conteúdos de *conceitos* e *procedimentos*, Zabala (1998) apresenta uma dica útil na hora de identificá-los. Os conceitos são representados pelos verbos: descrever, conhecer, explicar, relacionar, analisar, interpretar, enumerar, resumir, etc. E os que indicam ação representam os procedimentos, são elas: manejar, usar, construir, aplicar, observar, experimentar, elaborar, simular, demonstrar, planejar, compor, avaliar, representar (ZABALA, 1998).



A aprendizagem procedimental refere-se às habilidades relacionadas às técnicas e as estratégias adotadas pelos estudantes para resolver problemas. Enquanto a técnica seria uma rotina automatizada devido a prática repetitiva, as estratégias envolvem um planejamento e uma tomada de consciência dos passos a serem seguidos.

De fato, o uso eficaz de uma estratégia depende, em grande medida, do domínio das técnicas que dela fazem parte. (...) O ensino de ciências não só não é contraposto a um bom domínio de técnicas ou rotina automatizadas pelos alunos senão que, pelo contrário, deve apoiar-se nisso (POZO; GOMEZ-CRESPO, 2009, p.49).

E da mesma forma que a aprendizagem significativa de conceitos cria uma rede conceitual em que cada conceito novo se liga ao anterior (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 1999), o mesmo fenômeno ocorre com a aprendizagem significativa de procedimentos: o novo procedimento apreendido se liga a um anterior, transformando-o e enriquecendo-o. Esses novos procedimentos vão se estabelecendo na estrutura cognitiva dos alunos, criando vínculos e conexões. O progresso dos procedimentos se dá de forma gradativa. Os procedimentos, isto é, o saber fazer, o saber colocar em prática, aperfeiçoa-se gradativamente. A aquisição de procedimentos requer o estabelecimento crescente da técnica e culmina no uso estratégico delas. O Quadro 5 apresenta quatro etapas para conduzir o aluno à aquisição de conteúdos procedimentais.

Quadro 5: Pozo; Gomez-Crespo (2009, p. 54).

<b>Fases na formação Procedimental: da técnica à estratégia.</b>		
Formação	Fase	Consiste em
Técnica	Declarativa ou de instrução	Proporcionar instruções detalhadas da sequência de ações que deve ser realizada.
	Automatização ou consolidação	Proporcionar a prática repetitiva necessária para que o aluno automatize a sequência de ações que deve realizar.
Estratégica	Generalização ou transferência do conhecimento	Colocar o aluno para enfrentar situações cada vez mais novas e abertas, de maneira que ele seja obrigado a tomar decisões.
	Transferência do controle	Promover no aluno autonomia no planejamento, na supervisão e na avaliação da aplicação de seus conhecimentos.

No quadro apresentado, as duas primeiras fases estão relacionadas à aquisição de técnicas e as duas últimas ao estabelecimento de estratégias mais amplas. Embora as fases estejam sequenciadas, não podem ser entendidas como fases sucessivas,

elas não podem ser vistas de forma linear. Deve haver uma sobreposição um contínuo ir e vir entre elas. É preciso possibilitar sempre a inter-relação delas, de modo que as possíveis deficiências detectadas no currículo, quanto aos conteúdos procedimentais, sejam superadas. Pozo; Gomez-Crespo (2009) esclarecem que este método possibilita a inserção do estudante em situações cada vez mais abertas, de modo que ele sozinho possa traçar suas próprias estratégias. Ou seja, é importante a mediação do professor no início do processo, apresentando as técnicas e estabelecendo as primeiras estratégias, mas que o professor vá deliberando essa função progressivamente ao aluno. Nas palavras de Pozo; Gomez Crespo (2009):

[...] o professor é quem deve proporcionar ao aluno os componentes técnicos das estratégias, reservando gerações de soluções próprias por partes do aluno para fases posteriores da instrução procedimental (p.55).

[...] o aluno enfrenta tarefas cadê vez mais abertas e, ao mesmo tempo, fica cadê vez mais sozinho diante do problema, para que comece a assumir o controle estratégico (p.57).

O ensino por investigação reforça a formação procedimental da fase estratégica à medida que o estudante é convidado a enfrentar situações mais novas e abertas e obrigado a tomar decisões a partir de uma postura autônoma na supervisão e na avaliação da aplicação de seus conhecimentos (POZO; GOMEZ-CRESPO; 2009). Quanto à abordagem desses conteúdos no currículo de ciências, parece um consenso das administrações escolares, assim como ocorre nos conteúdos atitudinais, atribuírem aos procedimentais um papel secundário, que acompanha e facilita o desenvolvimento dos conceitos. Além disso, nas disciplinas científicas (Biologia, Física e Química) é comum a estruturação bem definida dos conceitos, mas não possuem critérios claros para a organização dos procedimentos (POZO; GOMEZ-CRESPO, 2009; ZABALA, 1998).

Quadro 6: Pozo; Postigo apud (POZO; GOMEZ-CRESPO, 2009, p. 59)

<b>Classificação dos conteúdos procedimentais</b>	
1 - Aquisição da informação.	Observação; Seleção da informação; Busca e captação da informação; Revisão e memorização da informação.
2 - Interpretação da informação.	Decodificação ou tradução da informação; Uso de modelos para interpretar situações.
3 - Análise da informação e realização de inferências.	Análise e comparação da informação; Estratégia de raciocínio; Atividades de investigação ou solução de

	problemas.
4 - Compreensão e organização conceitual da Informação.	Compreensão do discurso (escrito/oral); Estabelecimento de relações conceituais; Organização de conceitos.
5 - Comunicação da informação.	Expressão oral; Expressão escrita; Outros tipos de expressão.

No ensino de ciências, os procedimentos podem estar dispostos no currículo de acordo com a proposta organizacional no quadro, que classifica esses conteúdos em categorias: (a) aquisição da informação; (b) interpretação da informação; (c) análise da informação e realização de inferências; (d) compreensão e organização conceitual da informação; (e) comunicação da informação.

## **4. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **4.1 ANÁLISE DA APRENDIZAGEM CONCEITUAL: CONSTRUÇÃO DAS MEDIDAS PARA O ESTUDO LONGITUDIANAL**

#### **4.1.1 ANALISE DA ESTATISTICA INFIT E DA VARIÂNCIA**

Ao conduzir a análise Rasch, verificaremos inicialmente a estatística de ajuste dos itens ao modelo. Essa estatística inclui uma análise denominada INFIT, que segundo Borges; Mendes (2007) é uma estatística mais sensível aos comportamentos desviantes que afetam os itens próximos do nível medido de atitude do indivíduo e também é a estatística mais relevante para analisar a qualidade dos itens.

Para Coelho (2011), essa análise é baseada na variação entre o padrão de resposta observado e o padrão de resposta esperado pelo modelo desenvolvido. A importância de realizar essa análise é que ela determina a consistência da medida realizada, ou, ainda podemos dizer que ela determina o ajuste dos itens ao modelo. O MNSQ é a média quadrática da estatística INFIT e determina a significância da análise. Se os valores encontrados nessa estatística não estão no intervalo de confiança desejável, uma revisão no modelo (ou nos itens) deve ser realizada, antes de estimar seus parâmetros.

Analizamos a estatística de ajustes do item ao modelo através da análise INFIT/MNSQ. Essa análise é baseada na variação entre o padrão de resposta observado e o padrão de resposta esperado pelo modelo desenvolvido. Para o estudo em questão, o MNSQ gerado (0,96) é um valor alto para uma escala que vai de 0 a 1. Segundo Coelho (2011), o valor igual a 1 corresponde ao ajuste perfeito e, que não podemos esperar que todos os itens fiquem perfeitamente ajustados. O valor encontrado nesse estudo evidencia que todos os itens estão bem ajustados ao modelo e que as medidas estão consistentes e confiáveis.

A análise de variância encontrada nos dados foi de 80,6%. Um valor superior ao aquele proposto por Linacre (2009), que a variância devia ser superior a 50% para garantir a unidimensionalidade da escala. Esse resultado garante a fidedignidade da escala, e, ao mesmo tempo, demonstra a qualidade do sistema categórico adotado.

Em outras palavras, isso significa que os resultados das análises apontaram para a qualidade das medidas produzidas (que corresponde a variável  $\beta$  que traz a medida do entendimento dos estudantes em cada ocasião de medida). Isso demonstra que existe pouca divergência nos dados e que temos um único construto sendo avaliado, portanto, podemos considerar que o instrumento refletiu o entendimento dos estudantes em relação aos conceitos de Eletrodinâmica.

#### **4.1.2 ANALISE DAS ONDAS DE DADOS PRODUZIDAS NESSE ESTUDO**

Utilizamos nesta pesquisa o programa computacional WINSTEPS, pois este, segundo Linacre; Wright (2000) gera os escores de um tratamento Rasch. A Figura 6 apresenta a régua resultante do tratamento Rasch para a escala referente às três ondas de dados. A estimativa da medida do “entendimento” dos estudantes ou de aprendizagem conceitual é mostrada no lado esquerdo e a medida da complexidade dos itens é mostrada no lado direito da Figura 7. O agrupamento dos itens oscila, aproximadamente, entre -11 e 10 logit. No mapa também é possível visualizar a distribuição de estudantes ao longo da régua (principalmente entre -5 e 10 logit), o que significa que os estudantes possuem níveis de entendimentos altos.

Em relação às ondas de dados para a construção da régua, o fato dos estudantes não possuírem a prática de escrever nas aulas de Física refletiu nos textos produzidos por eles. Alguns textos estavam confusos e inconsistentes, tiveram problemas em relação à concordância gramatical do texto, coerência e coesão. Isso foi percebido logo na primeira vez que os estudantes foram convidados a responder a questão: “Por que a lâmpada acende?”, referente à primeira onda de dados. Além do nervosismo, havia o medo de errar a questão, escrever coisas sem sentido. Ocorreram vários equívocos em relação à utilização de termos científicos. Solicitei aos estudantes, em vários momentos do estudo, que se preocupassem com a gramática, com a coerência dos textos e com os conceitos científicos utilizados para explicar o fenômeno.

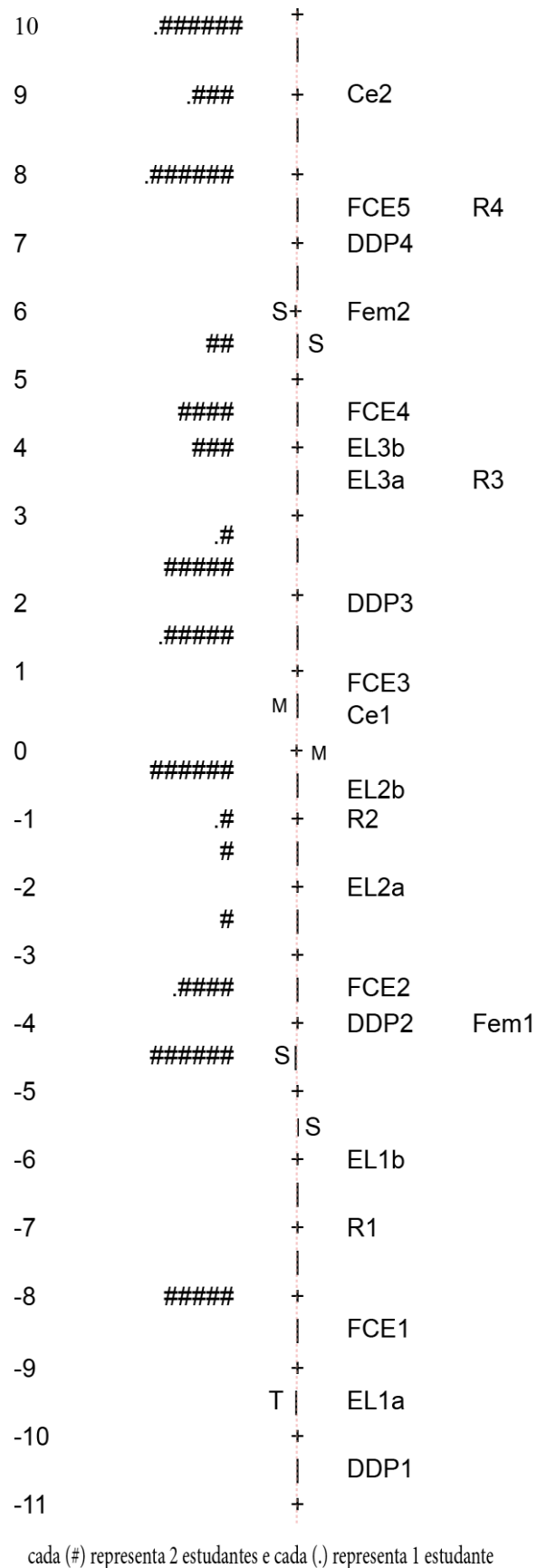


Figura 7: Mapa representando o nível de entendimento dos estudantes (lado esquerdo) e o nível de complexidade dos itens (lado direito).

Quando foram solicitados a responder a questão pela primeira vez, solicitei que tentassem escrever uma resposta mais completa possível, que não economizassem palavras. A ideia era tentar fugir das respostas óbvias, objetivas demais e que não pudesse ser extraídas suas concepções prévias, úteis para acessar os conhecimentos prévios dos estudantes.

Quadro 7: Exemplos de respostas dadas pelos estudantes coletadas na primeira onda de dados.

Concepções	Exemplos de respostas dos estudantes
(a)	<p>“A energia sai da pilha e atravessa o fio e chega a lâmpada” (E721).</p> <p>“A lâmpada acende porque a energia da pilha faz ela brilhar” (E505).</p> <p>“A pilha tem energia. Essa energia se move através do fio e a lâmpada acende e fica quente” (E612).</p>
(b)	<p>“A pilha tem energia positiva de um lado e negativo do outro e essas energia se encontram na lâmpada” (E619).</p> <p>“A energia positiva da pilha é mais forte e atravessa a lâmpada e alcança a energia negativa no polo negativo da pilha” (E521).</p>
(c)	<p>“A pilha contém íons que atravessam o circuito todo e faz a lâmpada acender” (E702).</p> <p>“A energia química da pilha se transforma em energia elétrica e atravessam o circuito todo” (E622).</p>
(d)	<p>“A solução química da pilha produz energia e ela faz acender a lâmpada” (E603).</p> <p>“Todas as pilhas têm energia porque os ácidos dentro delas criam a energia que faz acender as lâmpadas” (E523).</p>
(e)	<p>“Do pólo positivo saem elétrons positivos e do pólo negativo saem elétrons negativos... Eles se encontram na lâmpada” (E710).</p> <p>“Os elétrons positivos e negativos se colidem na lâmpada e ela brilha” (E508).</p>

O item menor grau de complexidade foram os itens DDP1 e EL1a. As análises das primeiras ondas de dados apontam que, dos 67 estudantes investigados, 66 desses entendiam a pilha como fonte de algo (energia, corrente, carga) que pode fluir no circuito referente à DDP1 do sistema categórico adotado. E ainda, 64 estudantes que explicaram o fenômeno da incandescência consideraram que a lâmpada emite energia na forma de luz ou na forma de calor referente à categoria EL1a. Entretanto, outras concepções foram encontradas durante as análises, algumas concepções de senso comum ou concepções alternativas foram encontradas nas análises, são elas:

a) A lâmpada acende porque passa energia da pilha para os fios e a lâmpada; b) Sai energia positiva de um lado da pilha e do outro lado sai energia negativa e se encontram na lâmpada; c) A energia química presente na pilha é transformada em

energia elétrica e é transmitida através dos pólos positivo e negativo da pilha passando pelo fio até chegar à lâmpada; d) Por meio de uma reação química a corrente elétrica dentro da pilha gera uma espécie de energia; e) Ocorre um encontro entre elétrons positivos e negativos. Algumas dessas concepções alternativas já haviam sido detectadas nos trabalhos de outros autores (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994; PACCA et al., 2003). No quadro 7 a estabelecemos algumas dessas concepções extraídas nas primeiras ondas de dados.

Não temos intenção de analisar essas concepções alternativas. Entretanto, a compreensão delas permitiu encontrar *situações didáticas* que levasse o aluno a uma reflexão necessária para a evolução da aprendizagem conceitual e a possibilidade de aprendizagem significativa.

[...] a corrente elétrica: o fluxo requer um caminho ininterrupto para permitir a passagem. A diferença entre o fluxo hidráulico e o fluxo elétrico é que o fio elétrico (qualquer que seja seu tamanho) tem um número enorme de elétrons livres que se movem aleatoriamente em todas as direções quando não está ligado a nenhuma fonte de energia elétrica, diferente do cano hidráulico que não apresentada em sua constituição o elemento fluente. (PRODUTO DE MESTRADO, 2014, p.10).

O texto acima é parte do material conceitual da Unidade Investigativa de Ensino. Nele, procuramos desmistificar algumas dessas concepções alternativas. Uma delas, presentes na maioria dos livros didáticos referente à analogia com o circuito hidráulico (HEWITT, 2002; MÁXIMO; ALVARENGA, 2006). Essa analogia contribui e reforça o pensamento intuitivo dos estudantes principalmente no que se refere, por exemplo, ao entendimento da pilha como fonte de carga para o circuito (assim como a caixa de água é fonte de água para o circuito hidráulico). Essa analogia pode reforçar a concepção alternativa de que a pilha é uma “fonte de elétrons” e que esses elétrons saem da pilha e fluem através do fio. Uma concepção equivocada já que esses elétrons fluentes já se encontram no fio, e se movem devido ao campo elétrico estabelecido no circuito (o cano hidráulico não apresenta em sua constituição o elemento fluente).

A análise preliminar dessa onda de dados, como foi coletada bem no início do estudo, auxiliou na montagem da sequência didática utilizada nesse estudo e reforçou ainda mais a elaboração da Unidade Investigativa de Ensino. Utilizamos o material conceitual da Unidade como *organizadores prévios* nas aulas e



principalmente durante a realização das atividades (AUSUBEL, 2003). Ele fomentou as discussões dos estudantes enquanto realizavam as atividades investigativas.

O item com maior grau de complexidade foi o item Ce2. Assim como em Coelho (2011) em nosso estudo o item Ce2, referente à categoria “Campo elétrico” é o que possui maior nível de complexidade por apresentar uma noção mais sofisticada ao considerar a propagação do campo elétrico no interior dos metais para a explicação do modelo da condução elétrica. Na primeira onda de dados nenhum estudante utilizou as concepções Ce1 e Ce2 para explicar a condução elétrica. Embora o conceito de “campo elétrico” já houvesse sido trabalhado, ele sequer foi citado nos textos produzido pelos estudantes. Na 9ª aula realizamos uma atividade (4ª atividade da Unidade Investigativa de Ensino) onde foi exposta a relação do campo elétrico para explicar a condução elétrica. A partir da segunda onda de dados, coletada na 14ª aula, 45 estudantes pressupõem que um campo elétrico é estabelecido no circuito (Ce1), porém, nenhum deles associou o campo elétrico ao surgimento da corrente elétrica (Ce2). A terceira onda de dados apontou que somente 22 estudantes reconheceram as categorias (Ce2) em suas respostas.

Quadro 8: Algumas das proposições do Pré-teste (Apêndice II e III).

V	F	Todos os metais são bons condutores de eletricidade.
V	F	O metal possui em sua estrutura interna íons e elétrons livres.
V	F	Nos condutores eletrolíticos os portadores de cargas são os íons.
V	F	Os metais conduzem eletricidade, mas são péssimos condutores de calor.
...	...	....

Houve uma preocupação no início da nossa pesquisa em relação à participação e dedicação dos estudantes. Desse modo, buscamos avaliar a participação dos estudantes ao longo da primeira atividade da Unidade. Os resultados dessa avaliação serviriam de norte para orientar nossa prática nas aulas<sup>10</sup>. Assim, convidamos todos os 77 estudantes<sup>11</sup> a participarem desse estudo piloto. No início

<sup>10</sup> Esse estudo piloto foi apresentando ano passado no IX ENPEC.

<sup>11</sup> O total de estudantes que participaram da pesquisa foram 67. Porém, especificamente no início da nossa intervenção havia um quantitativo maior de estudantes participantes que acabaram sendo remanejados para outros turnos ou transferidos para outras escolas.

desse estudo os estudantes fizeram um pré-teste com 18 itens semelhantes ao do quadro 8.

A primeira atividade da Unidade Investigativa de Ensino foi construída na perspectiva PIE (essa atividade será apresentada na seção subsequente). O quadro 9 apresenta o caminho metodológico utilizado na intervenção e as tipologias de aprendizagens potencializadas em cada etapa. O pré-teste representa a etapa 1. As etapas 2, 3, 4 e 5 estavam inseridas na atividade investigativa. A etapa 6 foi marcada por uma aula expositivo-demonstrativa, acompanhado de um pós-teste (nos mesmos moldes do pré-teste).

Quadro 9: E cada momento um ou mais domínios do conhecimento são potencializados nas ações dos estudantes. (C- conceitual P- procedimental e A- atitudinal). (apêndice).

<b>Etapas</b>	<b>Caminho metodológico durante a intervenção</b>	<b>Aprendizagens</b>		
1 <sup>a</sup>	Avaliação (pré-teste)	C		
2 <sup>a</sup>	Apresentação da Situação problemática (apresentação)	C		
3 <sup>a</sup>	Respostas intuitivas e levantamento de hipóteses (predizer)	C	P	A
4 <sup>a</sup>	Busca de Informações (interagir)	P	C	A
5 <sup>a</sup>	Elaboração de conclusões (explicar)	C	P	A
6 <sup>a</sup>	Generalizações (aula expositiva com demonstração)	C		
7 <sup>a</sup>	Avaliação (pós-teste)	C		

Para analisar o desempenho dos estudantes nos instrumentos aplicados antes e depois da intervenção, utilizamos o Teste t-Student<sup>12</sup> de amostras dependentes, pois os participantes contribuíram com os dados em duas medidas sistemáticas, ou seja, antes e depois de um tratamento (design pré/pós-teste). Os resultados do teste estatístico apontam que no pré-teste a média de acerto de questões foi de 10,81 enquanto que no pós-teste essa média chegou a 14,18. A média relativamente alta no pré-teste refere-se ao fato de que a condutividade dos materiais não era uma novidade (alguns estudantes já haviam lido o material conceitual da unidade). Em relação à diferença das médias – antes da intervenção (pré-teste) e após a intervenção (pós-teste) – temos 95% de confiança de que o valor está entre 2,82 e 3,91. Além disso, encontramos que,  $t(76) = -12,269$  tem um valor  $p < 0.001$ . Isso

<sup>12</sup> Extraído do livro: Estatística sem matemática para psicologia / Christine P. Dancey, John Reidy; tradução Lorí Viali. – Porto Alegre: Artmed, 2006.

quer dizer que é improvável, que a diferença entre as médias tenha ocorrido por erro amostral. Desse modo, temos um indício de uma possível evolução na aprendizagem conceitual dos estudantes.

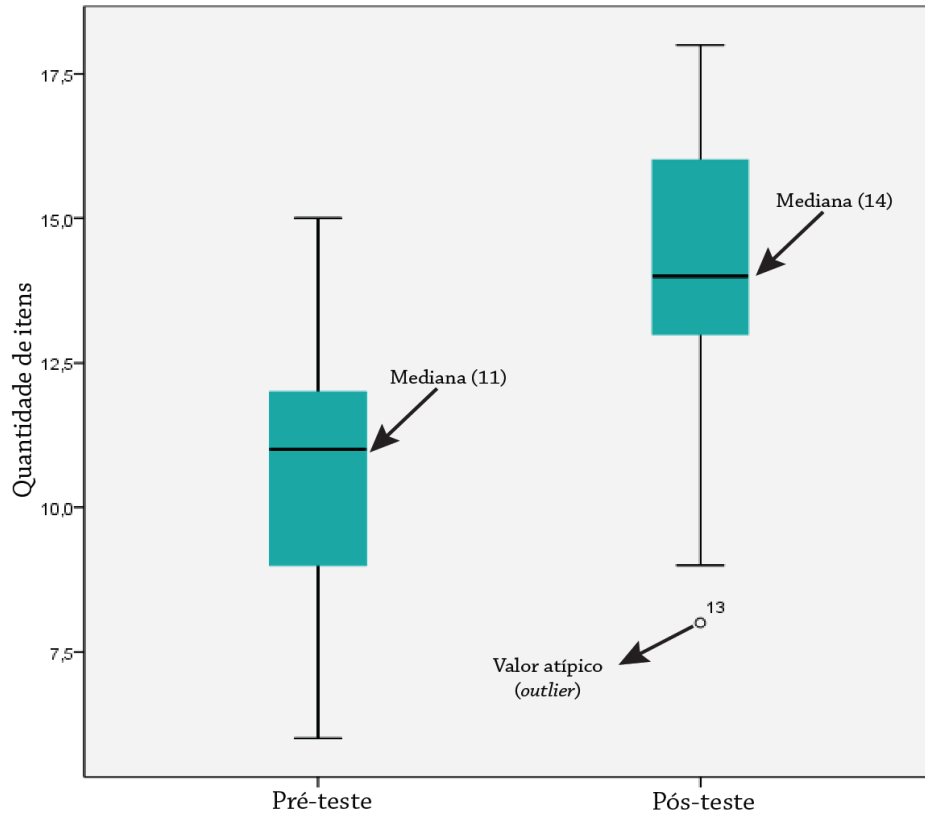


Figura 8: Resultado do design (pré-teste/pós-teste).

O gráfico da Figura 8 relaciona o número de acertos nos itens dicotômicos do pré e do pós-teste. Ele serve para comparar visualmente a variabilidade entre os momentos (antes e depois da intervenção). Observando as medianas do pré-teste e do pós-teste, nota-se uma evolução nos acertos. Isso pode ser percebido no terceiro quartil do pós-teste onde há uma maior dispersão dos dados para cima da mediana (14), diferente do primeiro quartil do pré-teste, onde o número de acertos cai para valores inferiores à mediana (11). O fato mais importante apresentado é a presença do *outlier*, referente à estudante E513. Este resultado aponta para um caminho diferente de aprendizagem conceitual (que apresentou uma involução). A fim de investigar os resultados do grupo em que a estudante E513 atuava apresentaremos a seguir fragmentos do diário de campo construído:

O grupo foi formado por apenas quatro pessoas, porque um dos integrantes havia faltado à aula. O estudante E515 foi o que mais se sobressaiu na atividade. Apesar da curiosidade aparente do grupo, esse foi aquele que menos se engajou no processo. As discussões não eram tão acentuadas como nos outros grupos. Não entendiam muito bem os comandos das questões. As hipóteses levantadas para explicarem os fenômenos não eram acentuadas, não partia de uma reflexão do grupo. Tentava o tempo todo encorajá-los a participarem, que se lembrassem do material que eu havia passado para eles lerem (somente um havia lido). Fiquei muito preocupado, mas procurava animá-los fornecendo dicas para seguirem adiante na atividade. Um dos estudantes precisou sair da sala, e retornou quase ao fim da atividade (por motivo de doença). O relato da estudante E513 no final da intervenção: “O grupo teve algumas dificuldades na parte prática, mas nos esforçamos, um ajudando o outro”. Apesar da minha preocupação, os estudantes conseguiram realizar a atividade. (Diário de campo do professor/pesquisador, turma M, 02/04/2013).

A estudante E513 apesar de participar de todos os momentos da intervenção, não teve um resultado muito bom. Talvez a ausência de alguns dos integrantes do seu grupo, o desinteresse pelo assunto abordado na atividade (ela não havia lido o material conceitual) ou a desatenção dada ao conteúdo tenham contribuído para tal resultado. Esse estudo piloto reforçou a ideia da minha mediação nas aulas. Foi possível encarar que os estudantes possuem dificuldades de aprendizagens específicas, e que algumas delas poderiam ser atenuadas, por exemplo, redistribuir grupos de trabalho, e principalmente, dar atenção individual àqueles com dificuldades de aprendizagem. Em relação a esse grupo investigado percebi que muitos deles não possuíam um conhecimento anterior sobre o conteúdo (diferente dos outros grupos investigados) do assunto abordado na atividade. Mesmo possuindo o material conceitual (apostila), uma seção que trata somente do assunto abordado na atividade, percebi que poucos haviam lido. Passei a utilizar a partir de então uma estratégia de que os estudantes deveriam fazer resumos das seções da apostila antes de realizarem as atividades. A ideia dos resumos se deu porque todos os estudantes (67 estudantes) que participaram da pesquisa possuíam o material conceitual preparado para essa pesquisa. Os que faltavam as aulas, além de fazerem os resumos, deveriam responder questões exercícios sobre a seção resumida.

A forma como foi construído o material conceitual potencializou os resultados da pesquisa a medida que problematizávamos esses conteúdos nas atividades investigativas desenvolvidas nos estudantes e nas aulas expositivas subsequentes. O descobrimento dos conhecimentos prévios dos estudantes permitiu construir

situações didáticas que favoreceu um melhor desenvolvimento dos conteúdos de Eletrodinâmica. A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel que leva em conta os conhecimentos prévios dos estudantes, o desenvolvimento da aprendizagem significativa a partir de uma postura ativa nas aulas aliada a perspectiva do ensino por investigação favoreceu e ao mesmo potencializou os resultados. A seguir, faremos um relato geral das atitudes dos estudantes ao longo do estudo longitudinal de forma a levantar mais questões para explicar a evolução de aprendizagem conceitual dos estudantes.

#### **4.1.3 ANÁLISE GRÁFICA DO ESTUDO LONGITUDINAL**

As medidas foram utilizadas para traçar o perfil evolutivo dos estudantes e avaliar se houve evolução ou não ao longo da intervenção. O perfil consiste na descrição de trajetórias, resultantes de uma regressão linear simples onde no qual considerou como variável dependente o entendimento dos estudantes  $\beta$  (essa variável representa a estimativa do entendimento através do Modelo Rasch) e como variável independente o tempo (número de aulas ministradas ao longo da intervenção). A evolução é um indício de aprendizagem conceitual. Tratando os dados dessa forma, podemos considerar que o intercepto define o entendimento inicial do estudante enquanto a inclinação define a taxa na qual o estudante evolui ao longo do tempo. Para que o intercepto pudesse ser interpretado como o entendimento inicial do estudante em Eletrodinâmica, a escala para essa variável foi reescalada para variar no intervalo de 0 a 2. Dessa forma, o ponto zero (o intercepto da regressão) corresponderia a 1ª aula, ocasião na qual foi realizada a primeira medida; o ponto 2, ou seja, o extremo superior da escala corresponderia a 24ª aula, ocasião na qual foi realizada a última medida. A medida intermediária ocorreu na 14ª aula.

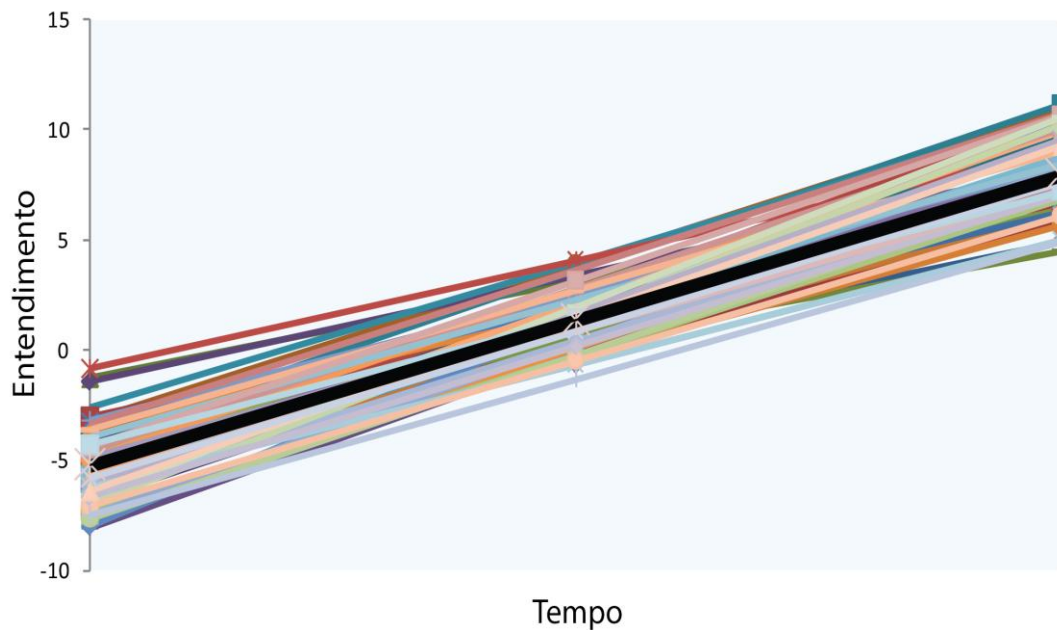


Figura 9: Trajetória do entendimento dos estudantes ao longo do estudo longitudinal.

Para a construção da reta que descreve o comportamento evolutivo médio dos estudantes (a evolução do entendimento dos estudantes ao longo do tempo apresentado na Figura 9), primeiramente foram calculados os valores médios do entendimento em cada uma das três ocasiões de medida. Posteriormente, com os valores médios de cada ocasião foi realizada uma regressão linear com três pontos; através da interação dos parâmetros da regressão (intercepto e inclinação) com o tempo (número de aulas) foi possível determinar a reta que descreve a evolução média dos estudantes (linha preta). Podemos dizer que, em média, os estudantes iniciam a unidade de Eletrodinâmica com um nível de entendimento relativamente baixo (-5,2118 logits), mas apresentam uma inclinação média positiva (6,5694 logits) indicando que o entendimento deles aumenta ao longo do tempo.

Ao longo desse estudo longitudinal, concebemos e desenvolvemos com os estudantes um total de 10 atividades de cunho investigativo com diferentes graus de abertura (BORGES, 2002). Estas atividades fazem parte da Unidade Investigativa de Ensino da pesquisa. Ao se depararem com esse novo formato de atividade e com as novas rotinas em sala de aula, em princípio, os estudantes ficaram desorientados, pois, as novas rotinas imprimiam-lhes mais demandas de esforço cognitivo. Para potencializar a prática investigativa em sala de aula, procuramos colocar questões que favorecessem a participação, a descoberta, o espírito investigativo.

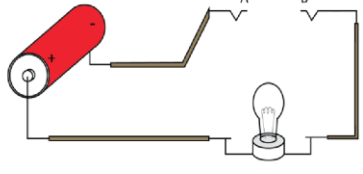
<p><b>Exp. 01</b> – Considere o circuito da Figura - 01. [...] Só utilize o circuito quando for solicitado.</p> 	<p style="text-align: center;"><b>I -- PARTE</b></p> <p><b>1)</b> Você acha que na condição que está o circuito a lâmpada irá brilhar? Comente.</p> <p><b>2)</b> Faça uma previsão do que acontecerá com a lâmpada ao ligar entre as pontas A e B do circuito: (a) um canudo de plástico, (b) fio de cobre, (c) bastão de grafite (presente dentro do lápis), (d) palito de madeira, (e) copo com água pura (destilada), (f) copo com água salgada (cloreto de sódio), (g) pedaço de vidro, (h) pedaço de batata.</p>
<p style="text-align: center;"><b>II -- PARTE</b></p> <p><b>3)</b> Faça os testes com os materiais listados no item anterior, ligando cada um entre as pontas A e B do circuito e respondendo as seguintes perguntas: a lâmpada acende? Explique por quê.</p>	<p style="text-align: center;"><b>III -- PARTE</b></p> <p><b>4)</b> Liste os materiais que são caracterizados como <i>condutores</i> e aqueles caracterizados como <i>isolantes</i>. Essa caracterização é válida para qualquer situação? Comente.</p>

Figura 10: Primeira atividade da Unidade Investigativa.

As atividades 1, 3 e 4 da Unidade Investigativa de Ensino eram do tipo experimental. Todas as atividades da unidade foram concebidas levando em conta os tipos de conteúdos (conceitual, procedimental e atitudinal) e se pretendiam potencializar nas ações dos estudantes. Por exemplo, na primeira, os estudantes deveriam investigar, de uma lista de materiais, quais eram condutores e isolantes de eletricidade e discutir sua utilização. Na Figura 10 apresentamos essa atividade, e, no quadro 10, temos os tipos de aprendizagens que procuramos desenvolver na atividade. Como se tratava de uma atividade de cunho experimental, houve uma maior participação e interesse dos estudantes em realizá-la.

Quadro 10: Aprendizagens potencializadas na atividade (C- conceitual P- procedimental e A- atitudinal).

- C1: Reconhecer materiais condutores e isolantes.
- C2: Explicar a utilização desses materiais no dia-a-dia.
- P1: Elaborar hipóteses
- P2: Construir modelos explicativos
- P3: Testar hipóteses
- P4: Comparar resultados
- P5: Generalizar
- A1: Estabelecer o aprendizado em grupo de forma colaborativa

Todos os estudantes envolvidos na pesquisa realizaram a atividade apresentada na Figura 8. Em geral, houve grande participação dos grupos. Foi possível encarar de perto o desafio de se trabalhar na perspectiva de ensino por investigação. A dificuldade encontrada foi porque diferentemente do modelo tradicional de ensino, onde somos centralizadores, explicadores, e soberanos de conhecimento – essa nova prática imprimia em mim papéis que não estava muito acostumado a desempenhar. Por exemplo, responder uma pergunta que aparentemente me é óbvia a resposta, mas devolvê-la para os estudantes. E mais, incentivar a busca de respostas, a elaboração de hipóteses para resolver problemas, fornecendo-lhes condições para testá-las e explicá-las baseados nas observações, nas descobertas. Existia uma preocupação de manter os alunos sempre envolvidos nas atividades. A seguir apresento um trecho do diário de campo baseado nas observações ao longo do desenvolvimento da primeira atividade realizada por uma turma.

(Primeira aula da aplicação da unidade de Eletrodinâmica) Iniciei a aula dizendo que ela seria diferente. Disse que apresentaria um problema e que deveriam levantar hipóteses para solucioná-lo. Disse que iria passear pelos grupos ao longo da intervenção para ajudá-los. Na primeira parte da atividade eles deveriam fazer previsões sobre o fenômeno estudado, levantar hipóteses para resolver o problema. Alguns elementos da lista geraram muitas discussões. Por exemplo, a água destilada e a água salgada. A maioria deles dizia que tudo que possuía água era condutor de eletricidade. Falavam do choque elétrico, por exemplo, que uma pessoa poderia levar por estar molhado. Depois de refletirem bastante, o grupo chegou num consenso a respeito da água. Segundo eles, a água salgada por conter íons deveria acender a lâmpada. Em relação à grafita, todos diziam que era isolante de eletricidade, por ser sólido e constituído por carbonos não deveria acender a lâmpada. Os alunos estavam preocupados demais com essa previsão, tanto, tive que tirar da mão dos grupos a folha de resposta referente à primeira parte da atividade. Notei que queriam após o teste mudar as respostas dadas. Eles estavam ansiosos para realizarem os testes. Porém, quando apresentei a eles o circuito elétrico que seria utilizado na atividade, notei que havia uma preocupação de entender o aparato experimental utilizado. Então expliquei como montei aquele circuito e eles iniciaram os testes. Em alguns momentos pedia silêncio porque as discussões extrapolavam. E pedia também que participassem das discussões ao invés de se distraírem. Alguns ficaram frustrados com os resultados após a realização dos testes. Falavam coisas do tipo: “eu disse que ia acender” ou “erramos, erramos...”. O tempo todo tentava acalmá-los em relação aos “erros”. Disse que eu estava mais preocupado em fazê-los participar, se envolverem com a atividade. Todos os grupos solicitaram minha presença para perguntar algo a respeito do problema, ou seja, esperavam respostas prontas, que eu solucionasse o problema. Diferente de responder as questões levantadas por eles procurava problematizá-las. Por exemplo, quando perguntaram se a batata conduzia eletricidade. Solicitei que cortasse um pedaço dela e investigassem sua estrutura. Notaram a presença de água e sais minerais e foi possível desenvolver uma hipótese para solucionar o problema. As mudanças nas posturas tanto dos alunos quanto na minha foram evidenciadas nessa atividade. No final da aula estava exausto. Antes ficava parado em frente a eles, explicando e



copiando no quadro. Nessa aula, tive que orientar e mediar as situações que ocorriam ao longo da intervenção, circulando pelos grupos, intervindo para que participassem mais ativamente. A atividade foi bem aceita pelos estudantes e no final me ajudaram a guardar o material utilizado levando para a sala dos professores. (Diário de campo do professor/ pesquisador, turma M, 02/04/2013).

No início do trabalho falei para os estudantes como seriam as aulas a partir daquele momento. Disse que as abordagens seriam diferentes das aulas de Física a que estavam acostumados. No início de *cada* atividade apresentava o problema a ser investigado, os objetivos e como os estudantes deveriam se portar ao longo do processo. Segundo Ausubel (2003), as atividades devem levar os estudantes a superarem sua condição inicial no processo de aprendizagem, ou seja, o professor quando apresenta um problema que privilegia a participação do estudante, contribui para que o mesmo saia de sua zona de conforto, estimulando-o a aprender.

A partir da problematização inicial, os estudantes recebem os primeiros estímulos para começarem a discussão. Ao exporem suas ideias, os alunos puderam se comunicar e refletir sobre as diferenças do conhecimento inicial (quando levantam hipóteses para responder o problema ou externalizavam seus conhecimentos prévios em relação ao conteúdo), produzindo uma negociação de significados entre eles mesmos e o professor. Nesse sentido, pode-se aproximar a estratégia de ensino da teoria da aprendizagem significativa, pois, há explicitação dos subsunçores. Por exemplo, quando afirmam que os metais são bons condutores de eletricidade porque possui em sua constituição elétrons livres.

Quando solicito que os estudantes exponham seus conhecimentos prévios para resolverem problemas de Física, incentivo suas atuações na condução da aula, desloca-se a centralidade do professor oportunizando a participação ativa dos estudantes, o debate em grupo, o que aproxima com a proposta de ensino por investigação. Pozo; Gomez-Crespo (2009) esclarecem que é preciso inserir os estudantes em situações cada vez mais abertas e possibilitar a transferência do controle – promover no aluno autonomia no planejamento, na supervisão e na avaliação da aplicação de seus conhecimentos – para que sozinhos possam traçar suas próprias estratégias. Ou seja, é importante a mediação do professor no início do processo, apresentando as técnicas e estabelecendo as primeiras estratégias, mas que o professor vá deliberando essa função progressivamente ao aluno.

Ao longo da aplicação da primeira atividade, à medida que intervimos, estimulamos os estudantes na obtenção de mais informações ligadas ao conteúdo proposto, e de possíveis variáveis envolvidas no experimento. A seguir, apresentamos um resumo das ações de dois outros grupos que não foi contemplado no estudo piloto.

Os alunos desse grupo estavam engajados. O aluno *E512* era o mais curioso e o mais incisivo na hora de responder o problema. Esse mesmo estudante disse: *“Tivemos surpreendentes descobertas e a que mais me intrigou foi a do grafite, que conduziu perfeitamente a corrente elétrica acendendo a lâmpada”*; outro aluno, o *E523*, era o que mais discutia se as hipóteses levantadas estavam corretas ou não. O estudante *E506* disse sobre a atividade: *“Todos participaram, questionaram, aprenderam!”*. O grupo se mostrou muito ativo em todo o processo. As hipóteses levantadas, evidências encontradas e as explicações dadas aos fenômenos físicos trabalhados passaram pelo consenso de todos. (Diário de campo do professor/ pesquisador, turma M, 02/04/2013).

Grupo mais engajado da turma. Trabalharam de modo colaborativo, dialogando, discutindo o problema. Os conhecimentos prévios sobre o tema, quase sempre eram os mesmos – segundo a estudante *E706*: *“interagimos bastante, cada um tinha alguma coisa para falar...”*. Três integrantes desse grupo obtiveram notas máximas no pós-teste. O estudante *E709* disparou: *“houve uma interação muito boa, pois já havia um conhecimento prévio sobre o tema”*. Terminaram satisfeitos com o resultado. (Diário de campo do professor/ pesquisador, turma O, 04/04/2013).

Todas as problematizações da Unidade Investigativa de Ensino centraram-se nos estudantes, estimulando o espírito colaborativo e o favorecimento de novos conceitos ou ideias. As questões propostas na unidade têm como finalidade propiciar ao aluno a elaboração de novas informações e a consolidação da aprendizagem (AUSUBEL et al., 1980). Atuei como orientador do processo de ensino, estimulando a buscarem mais informações a partir do que eles já sabem. O levantamento de subsunçores potencializou a ancoragem dos conceitos novos na estrutura cognitiva dos estudantes. Ao longo da atividade, a argumentação e a autonomia estavam sendo favorecidas, pois, estavam ocorrendo a externalização dos significados, levando-os a possibilidades de negociação destes na busca de um sentido individual daquilo que está sendo ensinado, pois, é necessário uma comunicação e um compartilhamento para alcançar o conhecimento.

Os conteúdos de Física apresentados nessa pesquisa não foram desenvolvidos de forma tradicional, deixando os estudantes atuarem somente como expectadores. Em todas as atividades investigativas, após a apresentação da problemática, os alunos foram deixados livres para que eles mesmos fossem em busca de explicações

razoáveis para o problema, contribuindo para uma aprendizagem significativa e não simplesmente memorística e sem significados (AUSUBEL, 2003). Minha mediação, passeando pelos grupos, incitando a participação dos estudos ao longo do processo de aprendizagem, diferentemente do que tem ocorrido tradicionalmente nas aulas de Física, sinaliza uma boa opção para os professores que têm o desejo de despertar o interesse dos estudantes para as aulas.

Além das atividades experimentais da Unidade Investigativa, as atividades 6, 8, 9 e 10 envolviam a utilização de applets e softwares. As soluções dos problemas físicos na sala de aula agora exigiam a utilização de simulações computacionais. Era uma novidade utilizar o computador para resolver problemas de Física nas aulas.

(Décima segunda aula da aplicação da Unidade de Eletrodinâmica) Perguntei aos alunos se eles já haviam trabalhado com simulações nas aulas de Física e a resposta foi não. O primeiro software que mostrei para eles foi o Edison. Eles gostaram muito. A aula era somente para explorar o aplicativo. Mostrei para eles uma aplicação muito comum nas residências, o circuito comutado. Um interruptor que é capaz de acender duas ou mais lâmpadas ao mesmo tempo (lâmpadas em lugares diferentes de uma residência). Enquanto tentava explicar o circuito comutado alguns já estavam ligando os computadores. Solicitei que prestassem atenção na aula, no modo como estava fazendo as ligações dos elementos porque depois eles deveriam fazer o mesmo. Utilizei o quadro digital do laboratório e melhorou a dinâmica de utilização do software Edison. Os estudantes, a princípio, estavam organizados em fila na minha frente. Mas depois em dupla, manipularam o aplicativo. A quantidade de computadores no laboratório de informática atendeu a demanda de alunos. Eles se divertiram, montaram vários tipos de ligações e aprenderam a reconhecer vários elementos de circuitos elétricos. (Diário de campo do professor/ pesquisador, turma O, 04/07/2013).

A grande vantagem na utilização dos softwares e applets são as variedades de exemplos que podemos simular que não conseguiríamos no laboratório de Física devido a ausência de materiais. Os objetos de aprendizagens no construto de (SOSTERIC; HESEMEIER, 2002) utilizados nessa pesquisa foram muito bem escolhidos e despertaram ainda mais o interesse dos alunos pelas aulas de Física. O efeito visual dos aplicativos, a facilidade de utilização, potencializou não somente a participação, mas deu mais ânimo para aprender Física de forma mais divertida e dinâmica. Abaixo apresentamos o esquema de dois applets utilizados (Figura 11 e 12) e o esquema do software Edison (Figura 13).

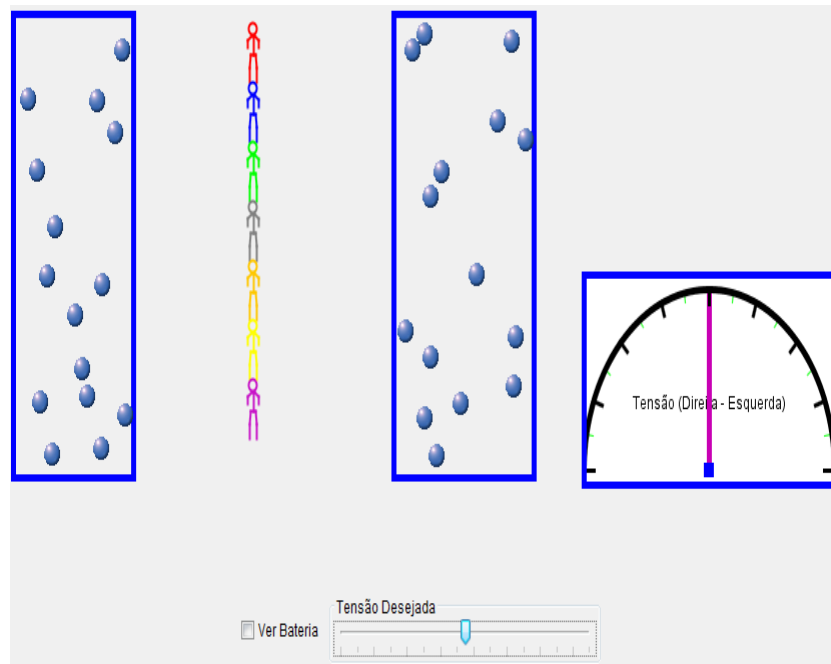


Figura 11: Applet utilizado na atividade nº 6 referente ao estudo da tensão numa bateria.

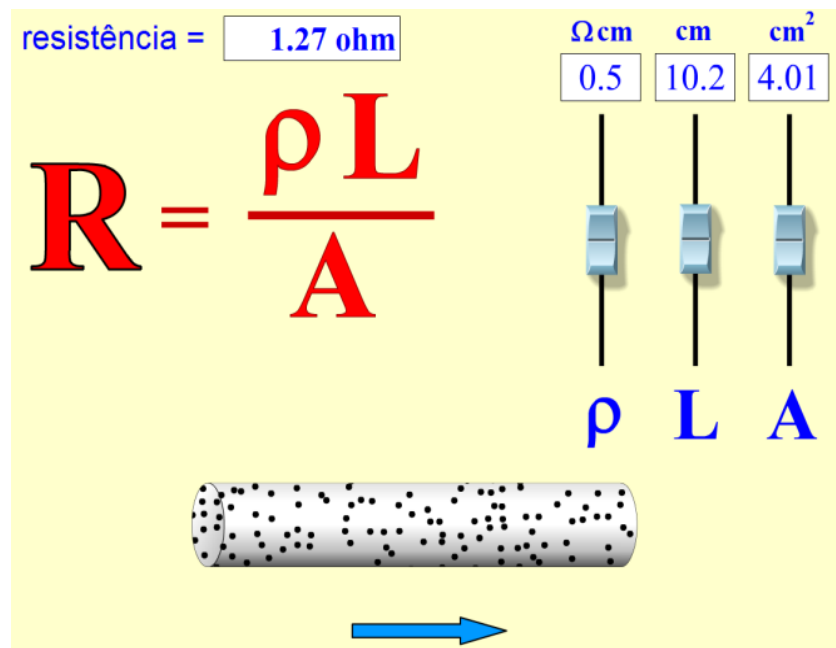


Figura 12: Applet utilizado na atividade nº 8 referente ao estudo da 2ª lei de Ohm.

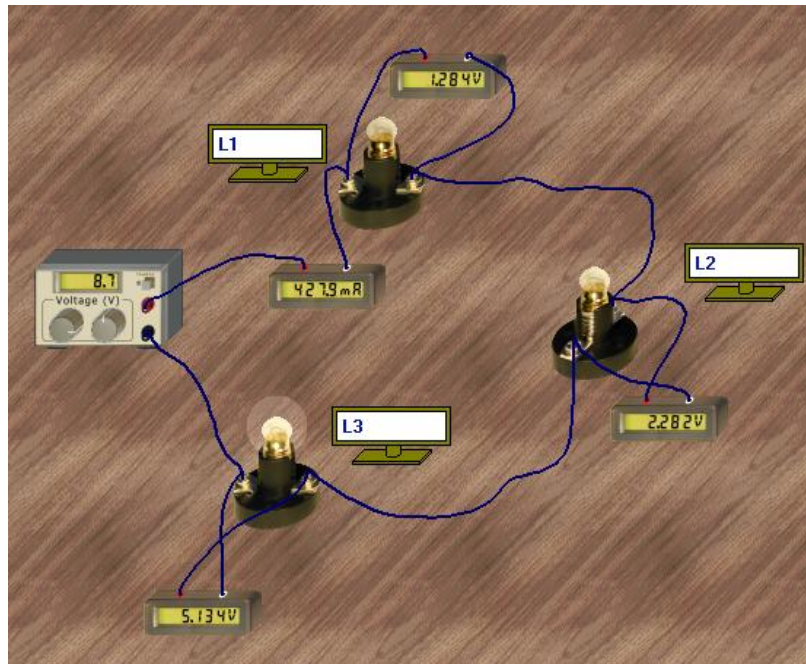


Figura 13: Software utilizado na atividade nº 10 referente ao estudo de associação de resistores.

A partir da segunda atividade no laboratório de informática, percebi que os alunos começaram a compreender as novas rotinas que agora passaram a desempenhar nesse tipo de atividade. E com isso foram ganhando mais autonomia. Ao passo que, se tornava mais visível o trabalho colaborativo, o debate em grupo e as tomadas de decisões quando resolviam os problemas propostos nas atividades. Essas atividades foram elaboradas para explorar um fenômeno físico ou para ratificar um resultado teórico. No material que acompanha essa dissertação (produto de mestrado) fizemos uma discussão mais acentuada dos objetos de aprendizagens utilizados na pesquisa.

Já as atividades 2, 5 e 7 envolviam leituras de textos, ou seja, dependiam do material conceitual da Unidade Investigativa de Ensino. Embora essas atividades, em parte, dependessem das teorias estabelecidas no material instrucional (produto de mestrado referente à parte 1), elas foram produzidas para exigir dos estudantes muito mais do que “*ler o texto e copiar a resposta*”, o debate em grupo, a reflexão, a interpretação, a aplicação da teoria em situações diferentes. Na quarta atividade, por exemplo, fizemos uma analogia de um circuito elétrico com o Carnaval. Todas essas atividades encontram-se no guia que acompanha essa dissertação.

É importante salientar que todas as atividades investigativas propostas nesse estudo foram intercaladas com aulas expositivas acompanhadas de demonstrações ou não. Nessas aulas, retomamos os assuntos abordados nas atividades de modo a esclarecer as dúvidas em relação aos conceitos estudados e aos procedimentos e atitudes adotados por eles para resolverem os problemas. Além disso, utilizamos essas aulas para resolver questões teóricas e problemas que exigiam a utilização de fórmulas.

Ao longo de toda intervenção não tive problema de indisciplina. Apesar das atividades exigirem uma participação mais ativa dos alunos nas aulas, houve uma grande aceitação da metodologia proposta. Eles raramente faltavam às aulas, e quando faltavam, realizavam as atividades em outros dias e em outras salas. As aulas nas três turmas eram geminadas e em dias diferentes (de terça-feira à quinta-feira), de modo que, se alguém faltasse na terça-feira, realizava a mesma atividade na quarta-feira ou na quinta-feira. Além disso, os estudantes recebiam notas nas atividades e isso favorecia a participação de todos. Na Tabela 3 apresentamos a relação de frequência nas atividades. Houve grande participação em toda a pesquisa.

Tabela 3: Frequência dos estudantes nas atividades da Unidade Investigativa de Eletrodinâmica.

<b>Atividades</b>	<b>Temas das atividades</b>	<b>Frequência nas atividades</b>	<b>Total de estudantes</b>
1	Condutores e Isolantes	100%	67
2	Corrente elétrica	100%	67
3	Efeitos da corrente	92,5%	62
4	Corrente elétrica e o campo elétrico	88%	59
5	Circuitos elétricos	100%	67
6	Fontes de tensão	100%	67
7	1ª Lei de Ohm	92,5%	62
8	2ª Lei de Ohm	88%	59
9	Circuitos em série e potencia elétrica	100%	67
10	Circuitos em paralelo e potencia elétrica	92,5%	62

No momento da realização das atividades, havia momentos de grande agitação nos grupos. Essa agitação era devido às conversas recorrente da própria atividade que exigiam, muitas vezes, o debate em grupo. Buscava sempre acalmá-los, pedia que respeitassem as falas dos colegas e que chegassem num consenso antes de resolver os problemas propostos. Todas as atividades da Unidade Investigativa de Ensino foram concebidas para produzirem “ganhos” que vão além da aprendizagem conceituais. Como veremos em outro momento, as atividades favoreceram a aprendizagem de procedimentos e de atitudes nos estudantes. Segundo (POZO; GOMEZ-CRESPO, 2009, p.47) “(...) o ensino de ciências precisa adotar como um dos seus objetivos prioritários a prática de ajudar os alunos a aprender a fazer ciência, em outras palavras, ensinar alunos procedimentos para as aprendizagens de ciências”. Ao longo do estudo foi possível observar que os estudantes se apropriaram de atitudes relacionadas ao “ser”, alguns se tornaram tolerantes com os colegas, outros mais compreensivos, respeitosos e cooperativos. E ainda, relacionadas ao “fazer”, ou seja, os estudantes adquiriram habilidades de elaborar hipóteses, testar hipóteses e de construir modelos explicativos para resolver problemas.

A proposição de atividades investigativas nas aulas potencializou a assimilação dos novos conceitos produzindo a modificação da estrutura cognitiva dos alunos à medida que desenvolviam. Os conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva dos alunos se modificam potencialmente quando estão psicologicamente envolvidos nas atividades. A evolução da aprendizagem conceitual, procedimental e de atitudes apontada nesse estudo fornece evidências para uma aprendizagem significativa, pois, houve engajamento de trabalho de todos nas aulas, ou seja, de modo geral, participaram ativamente nas atividades, discutindo questões, elaborando hipóteses, testando e explicando os resultados. Os conteúdos concretos que eram desenvolvidos nas aulas ancoravam-se aos conteúdos pré-existent na estrutura cognitiva dos estudantes e vice-versa. Essa ancoragem era favorecida quando os mesmos se envolviam com os problemas propostos em sala de aula e externalizavam seus conhecimentos prévios, levantando hipóteses, testando-as e quando percebiam que algumas delas não eram confirmadas, e que deveriam revê-las, reconstruí-las, ou seja, deveriam desenvolver novos modelos explicativos para solucionar os problemas.

Esse exercício de reconstrução de hipóteses, de discutir com seus pares, de experimentar o problema, potencializavam a organização e a integração do novo conteúdo aprendido a estrutura cognitiva dos alunos. Os conteúdos aprendidos se aproximaram do pólo da aprendizagem por descoberta porque esses conteúdos eram recebidos de modo “não-acabados” e os alunos deveriam “descobri-los” antes de assimilá-los (AUSUBEL, 2003). Nas atividades investigativas, os conteúdos estudados não eram apresentados aos estudantes na sua versão final. Ao contrário, procurávamos estimular a reflexão, as descobertas e oportunizando para o “fazer ciência” em sala de aula (CARVALHO, 2009; AZEVEDO, 2004).

A forma como desenvolvemos esse estudo, levando em conta os papéis dos estudantes e do professor na perspectiva investigativa de ensino, tornando as aulas centralizadas nas ações dos alunos, tornando-os sujeitos ativos no processo de aprendizagem, autônomos para discutirem problemas de forma colaborativa, e, de ter “voz” nas aulas, ao invés de só ouvirem e copiarem do quadro, de alguma forma pode ter favorecido a aprendizagem conceitual evidenciada pela evolução da aprendizagem ao longo do estudo longitudinal. Essa autonomia é dada pelo professor mediador (HODSON, 1996; TAMIR, 1991), que não enxerga o aluno como uma “tábula rasa”, desprovido de saber. Mas que consegue encorajá-lo a solucionar problemas, mesmo sabendo pouco ou quase nada, que consegue estimulá-lo a reflexão oferecendo situações didáticas interessantes, desafiantes.

#### 4.2 ANÁLISE DA APRENDIZAGEM PROCEDIMENTAL E ATITUDINAL SINALIZADAS MEDIANTE A IMPLEMENTAÇÃO DAS ATIVIDADES

Ao longo dessa seção descreveremos os acontecimentos que se desenrolaram ao longo da intervenção escolar, de forma linear, preocupando-se com as inferências em relação às aprendizagens investigadas. Baseados nos relatos do diário de bordo, nas gravações em áudio e vídeo e nas folhas de respostas, estabelecemos as inferências em relação às aprendizagens procedimentais e atitudinais dos estudantes pertencentes aos grupos investigados. Essas investigações servirão de evidências para estimular a prática do ensino investigativo na escola e de contribuir para avaliação conteúdos de procedimentais e atitudinais no âmbito escolar.



#### 4.2.1 ANÁLISES DOS GRUPOS INVESTIGADOS

Ao Investigarmos as aprendizagens procedimentais e atitudinais potencializadas na atividade, houve preocupação em perceber como ocorrem, o contexto que as influenciaram e o modo como os estudantes se relacionaram nela. Utilizamos a atividade “Circuitos elétricos simples” (dividida em dois episódios), para investigar as ações dos estudantes ao longo de sua aplicação. Relembremos a caracterização desses episódios:

- Episódio 1 – **O problema de acender uma lâmpada**: os estudantes deveriam na questão (1) e nos itens: **a)** desenhar os circuitos elétricos de modo a acender uma lâmpada; **b)** testar os circuitos elétricos desenhados e explicá-los; **c)** explicar para a turma por que os circuitos funcionaram ou não funcionaram.
- Episódio 2 – **Investigar o brilho da lâmpada**: nesse episódio os estudantes deveriam nas questões: **(2)** Fazer previsões sobre o brilho das lâmpadas utilizando pilhas de tamanhos variados; **(3)** Montar os circuitos elétricos e verificar se as previsões estavam corretas ou não; **(4)** Explicar sobre o brilho da lâmpada quando ligada às pilhas de tamanhos diferentes.

Na seção 3.5.2.2.1 foram discutidas as dimensões de aprendizagens que serão investigadas ao longo dos episódios. No quadro 11 estabelecemos novamente as categorias de aprendizagens atitudinal e procedimental, e também, as dimensões que serão inferidas em cada episódio. Ao longo dos registros dos grupos (subseção subsequente) realizaremos inferências em relação às aprendizagens atitudinais e procedimentais (quadro 11). Investigamos as atitudes dos estudantes *com respeito à ciência* (A1); e *com respeito à aprendizagem de ciências* (A2 e A3). As atitudes, que versam sobre a mudança de comportamento e de valores, referem-se ao “ser” dos estudantes. Eles são conteúdos voláteis, difíceis de serem sequenciados e fragmentados com os demais (POZO; GOMEZ- CRESPO; 2009).

Quadro 11: Procedimentos e atitudes empreendidas em cada episódio. Adaptado: (POZO; GOMEZ-CRESPO, 2009, p. 59).

Tipos de Aprendizagens	Categorias de aprendizagens	Aprendizagens inferidas ao longo da atividade
Atitudinal	Atitudes com respeito à ciência	A1: Ter um posicionamento crítico e investigativo perante situação-problema
	Atitudes com respeito à aprendizagem de ciências	A2: Trabalhar em grupo de forma colaborativa A3: Buscar o diálogo entre os estudantes respeitando as diferenças
Procedimental	1. Aquisição da informação	P1: Estruturar ideias por meio de desenho, linguagem escrita ou linguagem oral
	2. Interpretação da informação	P2: Interpretar ideias estruturadas e executar procedimentos
	3. Análise da informação e realização e inferências	P3: Elaborar Hipóteses P4: Desenvolver/Aplicar modelos explicativos P5: Testar hipóteses
	4. Compreensão e organização conceitual da informação	P6: Realizar inferências P7: Construir sínteses P8: Fazer Generalizações para outros contextos
	5. Comunicação da Informação	P9: Realizar exposição oral P10: Elaborar relatório

Em relação à categoria de *procedimentos* (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 e P10), cada procedimento deste está inserida numa categoria mais geral, por exemplo, 'P3', 'P4' e 'P5' estão inseridos na terceira categoria (*Análise da informação e realização e inferências*, quadro 11). Nessas categorias mais gerais, percebe-se a existência de um aumento de complexidade dos procedimentos. Existe também até certa relação entre esses procedimentos, pois, para o estudante analisar uma informação e realizar uma inferência (categoria 3), pressupõe que o mesmo tenha lido o texto, ou tenha discutido com o colega ou como o professor (categorias 1 e 2). As atividades dos episódios um e dois foram desenvolvidas em grupo. A princípio, os estudantes interagiram entre si para obter as informações (1. Aquisição da informação), e na tentativa de compreender o fenômeno estudado eles precisavam interpretar a fala do colega, ou do professor (2. Interpretação da informação). As atividades propostas são problemas, e para solucioná-los eles utilizariam técnicas e elaborariam estratégias (3. Análise da informação e realização de inferências); construiriam modelos para explicar o fenômeno e resolver o

problema (4. Compreensão e organização da informação). Ao final, comunicariam as informações obtidas (5. Comunicação da informação).

Os quadros inseridos nos *registros dos grupos (subseções subsequentes)* apresentam as ações dos estudantes em ordem cronológica em cada episódio. Além dos quadros de ações, existem os quadros de falas. Neles, os sujeitos foram indicadas dentro de colchetes acompanhados da transcrição da fala. Cada transcrição possui um turno de fala (numeração do lado esquerdo). Os comentários, as descrições das falas e as ações não verbais foram indicadas dentro de chaves. As aprendizagens do quadro 11 foram apresentadas com sua representação simbólica dentro de parênteses, acompanhados da supressão da pontuação apóstrofo, por exemplo, ('A1'). Isso significa que a atitude número um ("ter um posicionamento crítico e investigativo perante situação-problema") foi potencializada.

#### **4.2.1.1 Registros do Primeiro Grupo**

O grupo G1 pertencia a turma M e era formado por 5 estudantes do sexo masculino. Eles foram identificados pelos códigos: E721, E726, E704, E702 e E709. Os integrantes desse grupo estavam bastante participativos. O estudante E721 era muito curioso e participava de todas as tomadas de decisões do grupo. O estudante E704 anotava, na folha de dados, as respostas discutidas em grupo. O estudante E702 era tímido, e, em algumas ocasiões, o estudante E726 solicitava sua participação nas discussões. Ao longo dos dois episódios, o estudante E721 se excedia nas discussões em termos do tom da voz. Mas nada que pudesse desestimular a participação do grupo.

O quadro 12 traz as principais ações empreendidas pelos estudantes ao longo do primeiro episódio para solucionar os problemas propostos na primeira parte da atividade. O quadro evidencia minha participação em vários momentos da intervenção, o que demonstra que esse tipo de atividade carece da presença do professor mediador, envolvendo os estudantes nas questões científicas, com questões que os conduzam a pensar de forma coerente, favorecendo a aprendizagem significativa (GIL-PEREZ, 2005).

Quadro 12: Ações empreendidas do grupo G1 ao longo do primeiro episódio.

Itens da questão	Ações empreendidas no primeiro episódio
<b>a</b>	1) Os estudantes elaboram os desenhos de circuitos elétricos.
	2) Os alunos discutem os esquemas dos circuitos desenhados com o professor.
<b>b</b>	3) O grupo tenta conseguir acender a lâmpada utilizando os esquemas desenhados. Alguns deles não funcionam.
	4) O grupo discute as tentativas frustradas de resolverem o problema.
<b>c</b>	5) O professor solicita a um integrante do grupo que explique por que a lâmpada acende.
	6) O professor intervém na explicação do grupo e solicita uma resposta mais sofisticada.

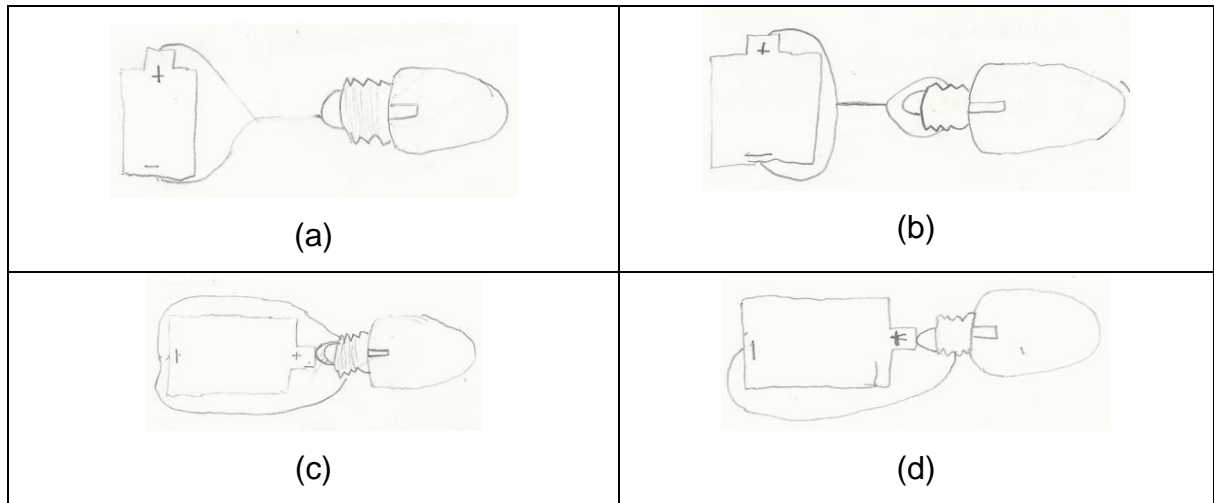
Essa primeira atividade foi concebida no modelo do 5Es proposto por Bybee et. al (2006). Eles deveriam, a princípio, desenhar os esquemas dos circuitos (sejam eles certos ou errados), depois testá-los (montar os circuitos um a um), e, por fim, explicá-los (para a turma). Percebemos certo interesse dos estudantes devido ao estilo da questão.

Quadro 13: Fragmentos das falas dos estudantes e do professor no primeiro episódio.

<b>1</b>	[Professor]: Muito bem! Já desenharam quatro circuitos, mas sugiro montar outros. Se um deles não funcionar.
<b>2</b>	[E726]: Não sabemos fazer mais.
<b>3</b>	[E721] Professor esse esquema é igual a esse? {Aponta para dois esquemas diferentes}.
<b>4</b>	[Professor] Não são iguais. Vocês podem inverter a polaridade da pilha ou a posição da lâmpada.
<b>5</b>	[E721][E702] Hãã...
<b>6</b>	[Professor] Tudo bem! Voltem ao trabalho e desenhem outros esquemas.

Enquanto resolviam o item da atividade, esse grupo desenhou quatro modelos de circuitos que, no entendimento deles, resolveriam o problema. Numa visita ao grupo, percebi que apenas um dos circuitos concebidos por eles fazia acender a lâmpada. Os turnos transcritos no quadro 13 apresentam uma das intervenções que estabeleci com o grupo no início do primeiro episódio (marcador de ação 1). Esta intervenção foi importante porque sugeri ao grupo que desenhasse outros esquemas de circuitos e foi uma tentativa de *envolvê-los* na atividade.

Quadro 14: Esquemas de circuitos desenhados pelos estudantes do grupo G1 no primeiro episódio.



As respostas dos estudantes E721 e E726 demonstraram a fragilidade do grupo em elaborar esquemas mais sofisticados de circuitos. Eles não sabiam como a lâmpada funcionava. No quadro 13 apresentamos quatro esquemas desenhados pelo grupo. Os esquemas (a) e (b) evidenciaram a insegurança desse grupo ao procedimento: ligar o fio corretamente à lâmpada. O fio que saía da lâmpada se dividia em duas partes e chegava à pilha.

Quadro 15: Fragmentos das falas dos estudantes e do professor no primeiro episódio.

7	[Professor] Nesse desenho aqui vocês ligam o fio em que parte da lâmpada? {Apontando para o desenho}.
8	[E721] Ligando na lâmpada... Hum... Na parte de metal na lateral.
9	[Professor] Mas não parece. Olha o esquema da lâmpada no papel observe que ela possui dois pontos de contatos. Viram? {apontando para o esquema na folha de atividade e para a lâmpada que estava segurando}.
10	[E709] Ah! Então de um lado passa os elétrons através da lâmpada e sai pelo outro lado.
11	[Professor] Terminem de desenhar os esquemas porque iremos para a segunda parte da questão.

Como a dificuldade de desenhar corretamente o fio na lâmpada era recorrente entre os grupos, resolvi explanar no quadro essa questão. Foi uma tentativa de prepará-los para a segunda etapa da atividade (item b). Ao longo dessa primeira parte, esse grupo se mostrou bastante participativo e as ideias que surgiram foram respeitadas e discutidas. A interação deles comigo foi primordial para o entendimento do funcionamento da lâmpada. Eles ouviram as explicações (marcador 3 da ação e turno de fala 9), avançaram na resolução do problema e conseguiram evoluir,

construindo esquemas mais sofisticados depois dessa conversa (quadro 14, esquemas [c] e [d]).

Enquanto realizavam essa parte da atividade os estudantes chegaram a trocar algumas palavras sobre o que era preciso para que o circuito funcionasse. A resposta dada pelo estudante E709 (turno de fala 10) deixou claro que ele sabia o que estava fazendo. Mesmo não sendo o estudante mais atuante no grupo, sugeriu o estabelecimento da corrente elétrica no circuito antes mesmo de testá-lo.

De acordo com o quadro 11, nas categorias de *aquisição de informação* e *interpretação da informação*, encontram-se os procedimentos executados pelos estudantes na busca e seleção de informações úteis à resolução dos problemas. Os alunos tiveram que estruturar as ideias levantadas por meio de desenhos ('P1'), e, ainda, interpretar ideias e executar procedimentos ('P2'). Ambos os procedimentos ('P1' e 'P2') foram potencializados nas ações dos estudantes ao longo desse primeiro episódio. Essa busca de informações (discussão entre mim e eles e entre eles) e a interpretação das informações (entendimento estabelecidos, mudanças de posturas) ocorreram por meio do trabalho colaborativo ('A2') e do posicionamento crítico perante a situação problema ('A1') - envolvimento deles com a atividade.

**No item b** do trabalho, a maioria dos integrantes do grupo queria realizar os testes. Foi nessa parte do processo que percebi certa evolução na participação deles na aula. Os aspectos procedimentais das categorias *análise da informação e realização de inferência* estavam muito evidentes neste item. Os procedimentos: montar os circuitos elétricos (P3: Elaborar hipóteses); verificar se as hipóteses estão corretas ou não (P5: testar hipóteses); desenvolver explicações para o problema (P4; desenvolver e aplicar modelos explicativos), foram potencializados nas ações dos estudantes.

Sobre o *aspecto atitudinal com respeito à aprendizagem de ciências* (A2 e A3), novamente, o modo como eles se organizaram nas mesas novamente evidenciou o alto grau de interesse pela atividade. Eles se espremiavam e se contorciam para fazer o circuito funcionar. Enquanto um deles segurava a pilha (E726), outros dois seguravam a lâmpada (E702 e E709) e o outro segurava o fio (E704). O estudante

E721 se certificava de que a ligação estava de acordo com o esquema desenhado. Eles se revezavam, mas os testes eram sempre efetuados em grupo. Inicialmente, com relação aos modelos de circuitos desenhados por esse grupo, apenas dois funcionaram e eu precisava ouvir deles as razões. A transcrição a seguir apresenta essa discussão sobre o esquema de um circuito testado que não funcionou.

Quadro 16: Fragmentos das falas dos estudantes e do professor no primeiro episódio.

<b>12</b>	[Professor] Por que não está acendendo? {o grupo tentava montar um circuito que não funcionava}.
<b>13</b>	[E721] A corrente tem que circular pelo circuito e isso não está acontecendo.
<b>14</b>	[E704] Vamos tentar novamente {tentam desenhar o mesmo esquema de circuito}.
<b>15</b>	[E721] Não vai funcionar. Olha esse esquema aqui... Estão vendo o circuito? {aponta para um esquema de circuito que funcionou}. Existe um caminho completo para a corrente que sai daqui {aponta para a pilha} e atravessa a lâmpada e depois chega à pilha.
<b>16</b>	[E726] Agora entendi. Porque não existe um caminho “completo”, um circuito fechado... {faz um sinal de círculo na mão}.
<b>17</b>	[E709] Tem que encostar bem o fio para fazer o circuito.
<b>18</b>	[Professor] Isso. Fazer o contato. Fechar o circuito.

A interação com o experimento possibilitou ao grupo, criar outros arranjos que permitiram solucionar o problema. O estudante E721 (turno de fala 10) tentou explicar para os colegas a partir da comparação de dois circuitos, um que funcionou e outro que não funcionou. Mostrou o caminho percorrido pela corrente elétrica e justificou por que aquele circuito testado nunca iria funcionar. Houve interação dele com os colegas E721 e E709 que, a partir da discussão, assimilaram suas ideias.

Nessa fase da atividade o estudante E702 não estava interagindo tanto com os demais colegas para solucionar o problema. Apesar do entusiasmo aparente de todos os integrantes do grupo, esse estudante se mostrava pouco atuante na atividade. O estudante E721 fazia questão de ajudá-lo, de colocar em suas mãos os materiais para que também testasse e apreciasse o resultado. O estudante E702 embora quisesse participar mais ativamente da atividade, não se sentia a vontade. Tinha um ar de preocupação de errar ou de fazer alguma bobagem.

Depois das ações estabelecidas no quadro 16, os participantes conseguiram concluir o item b da atividade. Com exceção do estudante E702, que participou pouco mesmo sendo ajudado pelos colegas, o grupo estava bem participativo. Quando acendiam a lâmpada faziam uma festa, ficavam emocionados. Apesar do meu contentamento com o andamento da investigação, interrompia a comemoração solicitando que se concentrassem mais.

No **item c da atividade**, esse grupo foi o primeiro a se apresentar diante da turma. Eles elegeram o estudante E721 para falar sobre os esquemas de circuitos que funcionaram. Mesmo assim, todos os integrantes do grupo se apresentaram para explicar o funcionamento do circuito. Parte desse relato está no quadro 17.

Quadro 17: Fragmentos das falas dos estudantes e do professor no primeiro episódio.

19	[E721]: Desenhemos quatro formas de montar o circuito e o funcionamento é assim. A pilha é a fonte, ela possui uma ddp de 1,5V. A corrente elétrica flui no circuito “fechado” através de cada componente fazendo a lâmpada acender {apontando para o esquema desenhado no quadro}.
20	[professor]: O que tem a ver esse ddp de 1,5V?
21	[E721]: É ela que move os elétrons através do fio.
22	[Professor]: Como é que a corrente elétrica vai acender a lâmpada?
23	[E702] O filamento fica quente e emite luz. {interrompe um dos integrantes do grupo}
24	[Professor]: E a resistência desse filamento?
25	[E721]: Ela que faz aquecer. O filamento é resistente né? Por que fica muito quente...
26	[Professor]: Como assim?

À medida que eu entrevistava na explicação desse grupo percebia que as respostas dadas ao problema proposto não haviam sido discutida em grupo. Interpretei que o estudante E721, por estar na frente da turma, improvisou a resposta. A ddp da lâmpada sequer foi citada em suas discussões com o grupo, nem mesmo a resistência do filamento da lâmpada. Quando percebi essa inovação na sua resposta, fiz algumas intervenções para verificar sua segurança nas explicações dadas. Alguns integrantes interromperam nosso diálogo, fornecendo contribuições na tentativa de explicar por que a lâmpada acende.



Os procedimentos relacionados ao item c da atividade fazem parte da quarta e da quinta categorias de procedimentos relacionados à *compreensão e organização conceitual da informação* e a *comunicação da informação*. Dentro da quarta categoria, constatamos, nas ações dos estudantes (linguagem verbal) e na linguagem escrita (folha de respostas), dois procedimentos potencializados. O procedimento ('P7') "realização de inferências" e ('P6') "construção de sínteses". O procedimento ('P8'), que se refere ao fazer generalizações dos conteúdos para outros contextos não foi contemplado ao longo desse primeiro episódio. Em relação à quinta categoria, o procedimento ('P9') "realizar exposição oral" foi potencializado nessa parte final. Embora houvesse uma "inovação" na resposta final do estudante E721, em todo o período desse primeiro episódio, foi possível inferir que a explicação dada pelo grupo ao problema girava em torno da corrente elétrica estabelecida no circuito. Os membros desse grupo reconheceram que a corrente elétrica que percorria o circuito era a responsável pelo acendimento da lâmpada. Suas explicações estavam limitadas aos conteúdos até ali desenvolvidos.

Os estudantes iniciam a segunda parte da atividade. Esta atividade foi construída na perspectiva PIE. Na questão 2 eles deveriam *predizer* (fazer previsões a respeito do fenômeno estudado), na questão 3 *interagir* com o experimento (montar os circuitos, realizar os testes), e na questão 4 *explicar* o fenômeno. No quadro 18 estabelecemos os principais conteúdos empreendidos ao longo do segundo episódio.

Quadro 18: Ações empreendidas do grupo G1 ao longo do segundo episódio.

Questões	Ações empreendidas no segundo episódio
2	7) E704 faz a leitura da questão.
	8) O professor orienta o grupo na realização da tarefa.
	9 ) O grupo afirma que a pilha média (C) produziria o maior brilho na lâmpada.
3	10) Os estudantes tentam montar o circuito.
	11) Os estudantes discutem sobre o brilho da lâmpada.
	12) Os estudantes divergem sobre o brilho da lâmpada. O professor propõe um novo arranjo de montagem.
4	14) Os estudantes realizam o novo teste e iniciam uma discussão. Escreve na folha de respostas o resultado.

O grupo inicia a segunda parte da atividade. O início da segunda parte da atividade é marcada pela leitura da questão 2 pelo estudante E704. Percebemos que o espírito do trabalho colaborativo ainda vigorava no grupo. Havia um compromisso de discutir criticamente e em conjunto cada ideia apresentada. As sequências dos turnos transcritos a seguir (quadro 19) mostram um trecho da discussão no início da atividade na qual atuei como mediador. Eles discutiam entre si na tentativa de levantar hipóteses para solucionar o problema do brilho da lâmpada (com qual pilha a lâmpada brilhará mais?), sendo que, havia três tamanhos diferentes de pilha no problema, a pilha *pequena* (AA), do mesmo tamanho utilizado no primeiro episódio, a pilha *palito* (AAA) e a pilha *média* (C).

Quadro 19: Fragmentos das falas dos estudantes e do professor no segundo episódio.

28	[E721]: A ddp dissipada pela pilha menor é maior {referindo-se a pilha palito}.
29	[Professor]: ddp se dissipa?
30	[E721]: Energia dissipada! Energia dissipada! As ddps das três pilhas são iguais.
31	[Professor]: O brilho está associado a quê? Como surgiu?
32	[E721]: O brilho, tá associado... Calma aí... O brilho é energia né?
33	[E704]: Está associado à corrente elétrica.
34	[Professor]: As correntes elétricas são iguais para qualquer pilha?
35	[E709]: Acho que o brilho será maior com a pilha maior.

Os estudantes previram que o brilho da lâmpada seria mais intenso quando ligada a pilha de tamanho médio (C). Afirmavam que a corrente elétrica seria maior e utilizaram a equação “ $P=Vi$ ” para constatar que quanto maior for a corrente elétrica, maior será potência dissipada na lâmpada. Apesar do conteúdo de potência elétrica não ter sido desenvolvido, alguns deles já conheciam a equação e se apropriaram dela para tentar solucionar o problema.

O estudante E721, como foi informado, era muito impulsivo nas respostas, trocava os nomes das grandezas e atribuía significados diferentes a elas. Em vários momentos intervi em suas colocações para que não disseminasse concepções equivocadas a respeito do assunto estudado nas aulas. O levantamento de hipóteses para essa questão foi discutida entre eles e foi uma decisão tomada em grupo. O procedimento (‘P3’) foi potencializado no início da atividade. A hipótese

levantada pelo grupo foi que a pilha maior (pilha média C) possibilitava a formação de uma corrente elétrica maior no circuito. Segundo eles, as pilhas *palito* produziam correntes menores. Esses estudantes também associaram o brilho da lâmpada à potência elétrica. Eles conseguiram criar um “modelo explicativo” (‘P4’) para o fenômeno estudado.

A partir da questão 3, o estudante E704 convidou os colegas a realizarem os testes. Estavam tão ansiosos para testarem as hipóteses levantadas que não planejaram a execução dessa etapa da atividade. O estudante E704 acendeu a mesma lâmpada, primeiro usando a pilha palito, depois a pilha pequena e depois a pilha média. Isso dificultou a comparação dos brilhos pelas pilhas de tamanho diferentes. A técnica de ligar os fios na lâmpada e na pilha de forma correta já havia sido apreendida no primeiro episódio. Como não houve um planejamento na realização da atividade, mesmo com dúvida, o estudante E704 afirmava que o brilho emitido pela lâmpada seria maior quando ligada a pilha média (em concordância com a previsão).

Depois de quebrarem a cabeça, a estratégia adotada pelo estudante E702, que teve a ideia de acender as três lâmpadas simultaneamente, auxiliou-os na comparação dos brilhos das lâmpadas. Em relação aos brilhos, eles divergiram. Os estudantes E704 e E726 afirmavam que os brilhos eram iguais, enquanto os outros componentes afirmavam que, embora a pilha palito (AAA) fizesse a lâmpada brilhar mais, havia alguma coisa errada ou com a pilha ou com a lâmpada. A partir desse momento, todos passaram a construir outras hipóteses para solucionar os problemas (P3). Eles testaram as hipóteses (‘P5’) e as previsões não foram confirmadas (‘P3’). Percebiam que precisavam elaborar novos modelos explicativos para solucionar o problema (‘P4’). O estudante E721 levanta discussão com os colegas para tentar chegar a um consenso a respeito do brilho da lâmpada.

Quadro 20: Fragmentos das falas dos estudantes e do professor no segundo episódio.

36	[E721]: Vocês pensam... Se fosse duas pilhas de mesmo tamanho o brilho seria o mesmo. São duas pilhas de 1,5V, mas os tamanhos influenciam sim!
37	[E726] O brilho será o mesmo porque a voltagem é a mesma.
38	[E702]: Vamos pensar porque...Vai ter mais coisa, distribuição...
39	[E709]: É mais dividido todo núcleo da pilha. É mais concentrado.
40	[E721]: Núcleo?!

41	[E709]: Aqui é mais concentrada a energia química do que naquela. {segura uma pilha média e aponta para a pilha palito}
42	[E721]: Estamos tentando argumentar melhor a resposta. O E709 levantou uma questão ele diz que tem a ver com a concentração de energia química. {O estudante conversa com o professor}
43	[Professor]: Concentração de quê?
44	[E709]: De fluidos. Essa pilha tem mais do que essa {aponta para as duas pilhas novamente}
45	[E721]: A pilha maior faz a lâmpada brilhar mais forte e pode fluir mais os elétrons. Isso tem sentido?
46	[E726]: As pilhas têm a mesma voltagem professor, eu e E704 achamos que o brilho é o mesmo.
47	[Professor]: Por quê?
48	[E704]: As pilhas têm a mesma voltagem. A diferença talvez seja por causa da durabilidade dela. Uma pilha média tem maior quantidade de fluidos do que a pequena, mas a corrente produzida é a mesma.
49	[Professor]: Legal. Façam o seguinte: peguem essas 3 pilhas pequenas aqui e liguem elas simultaneamente e observem o brilho. Discuta o resultado depois eu retorno, ok?
50	[E721] [E709]: Tudo bem!

Para tentar explicar o funcionamento da pilha, os estudantes utilizam termos como: “coisa”, “energia concentrada” e “núcleo” (quadro 20). Essas respostas são resultados do alto grau de esforço psicológico dos estudantes para tentarem resolver o problema. O estudante E709 (turno de fala 39) argumenta que a pilha média possui maior energia química do que a pilha palito e por isso produz um brilho maior na lâmpada. A ideia trazida pelo estudante E704 era interessante. Este já sabia que o brilho das lâmpadas eram iguais quando ligadas em pilhas de tamanhos diferentes. Sugeri que as lâmpadas fossem ligadas agora nas pilhas pequenas. Uma das pilhas que entreguei a eles estava velha e queria mostrá-los que havia a queda de tensão (voltagem) na pilha quando utilizada por algum tempo.

O trabalho colaborativo continuou. Diferentemente do primeiro episódio, o estudante E702 estava muito mais envolvido na atividade. Ao final, todos se esforçaram para entender o brilho das lâmpadas. Os estudantes E709 e E704 estavam determinados a compreenderem aqueles resultados. Quando testaram os circuitos com três pilhas iguais, notaram que uma das lâmpadas brilhou muito menos que as demais.

Quadro 21: Fragmentos das falas dos estudantes e do professor no segundo episódio.

51	[E721]: As pilhas possuem brilhos diferentes, mas deveria ser igual. Acho que significa que ela perdeu energia química.
52	[E726]: Isso! A pilha perde energia porque tem a energia dissipada na lâmpada. Ela esquenta o filamento da lâmpada também e se gasta energia.
53	[E702]: E por que o brilho deveria ser o mesmo nas três pilhas? Podia chamar o professor para explicar.
54	[E726]: Ele pediu pra gente discutir.
55	[E704]: Vamos pensar na corrente. Por exemplo, como o brilho foi o mesmo então a quantidade de elétrons que fluem no filamento da lâmpada deve ser o mesmo. A pilha maior deve manter esses elétrons fluindo por mais tempo.
56	[E709]: Os elétrons livres né?
57	[E704]: Aham
58	[E702]: Os metais têm elétrons livres lembro disso
59	[E721]: Então os elétrons dos metais que se movem
60	[E726]: Vou colocar no papel isso.

Não foi possível participar da discussão final desse grupo a respeito da pilha (quadro 21). Perceberam, ao final, que o brilho seria igual porque o tamanho da pilha não possui relação com voltagem por ela aplicada, mas sim com a quantidade de reagentes, que está associada com a durabilidade da pilha. A quantidade de reagentes está ligada não à intensidade de corrente elétrica, mas à vida útil da pilha. O fato das previsões dos estudantes não terem sido confirmadas nos dois episódios pelos resultados da experiência provocou conflito entre eles o que produziu um resultado positivo e potencializou ainda mais os resultados. Eles tiveram que construir novos modelos que contrariaram seus conhecimentos anteriores, ou seja, tiveram que construir novas hipóteses e realizar novos testes.

Ao longo de toda a atividade houve preocupação, de cada integrante, em participar de cada etapa de resolução do problema proposto. O modo como se organizavam nas carteiras evidenciou o alto grau de interesse. Todos queriam manipular os materiais e testar os circuitos. Tiveram um posicionamento crítico em relação à situação-problema proposta. No primeiro episódio, depois de desenharem os circuitos, não desistiram diante das montagens mal sucedidas, apesar de ter causado certo desconforto no grupo, existia o compromisso em trabalhar de forma colaborativa. As atitudes de respeito estabelecidas pelos integrantes do grupo foram fundamentais para a manutenção de um ambiente favorável à aprendizagem.

Apesar da maneira particular que cada um possuía de se relacionar com os problemas, conseguiram estabelecer um sistema de trabalho colaborativo, respeitoso e responsável.

Em relação aos *procedimentos* adotados pelos estudantes para resolverem os problemas, destacamos aqueles relacionados à *aquisição da informação e a interpretação das informações*. Os estudantes conseguiram discutir ideias e estruturá-las por meio de desenhos, agregando os novos conteúdos aos já existentes na estrutura cognitiva. Aprenderam técnicas e elaboraram estratégias para solucionar os problemas. Estive aberto a orientá-los e isso potencializou a *busca de informações*, levando-os a investigarem, levantarem hipóteses, testá-las e encaminhando-os a formulação de conclusões. Foi possível perceber em alguns episódios, que além de adquirir informações acerca da solução do problema, eles conseguiram *interpretar as informações*. Eles discutiam, planejavam e executavam a montagem dos circuitos.

As *análises de informações e realizações de inferências* ocorriam quando elaboravam/testavam as hipóteses ou desenvolviam modelos explicativos. Deve-se considerar, durante o planejamento de uma atividade investigativa, a emissão de hipóteses como a atividade central da investigação científica, de forma a orientar o tratamento das situações e tornar explícitas, funcionalmente, os conhecimentos dos estudantes (AZEVEDO, 2004; CARVALHO, 2009; GIL-PEREZ, 2005). Havia a preocupação deles em repetir as ações de modo a confirmá-las para que tivessem consciência das ações tomadas pelo grupo.

#### **4.2.1.2 Registros do Segundo Grupo**

O grupo G2 pertencia à turma M e era formado por 6 estudantes do sexo feminino. Elas foram identificadas pelos códigos: E513, E503, E502, E516, E528 e E525. O grupo, apesar de grande, demonstrou muito segurança e participação em todos os momentos da atividade e era formado por alunas com rendimento satisfatório na disciplina. Duas estudantes (E513 e E525) se sobressaíram significativamente em relação às demais em termos de atitudes. Em Alguns momentos elas solicitavam a participação das colegas, principalmente quando as discussões tomavam outros

rumos. No quadro 22 estão as principais ações estabelecidas ao longo do primeiro episódio.

Quadro 22: Ações empreendidas do grupo G1 ao longo do primeiro episódio.

Itens da questão	Ações empreendidas no primeiro episódio.
<b>a</b>	1) As estudantes elaboram os desenhos de circuitos elétricos.
	2) O professor verifica os esquemas e solicita mudanças.
<b>b</b>	3) A estudante E513 sozinha começou a realizar os testes.
	4) As estudantes conseguem acender a lâmpada.
	5) A estudante E525 inicia uma discussão do por que o esquema não funcionou.
	6) As estudantes reelaboram os novos esquemas de circuitos
<b>c</b>	7) As estudantes discutem os circuitos montados e buscam explicações para o funcionamento ou não deles.
	8) As estudantes explicam para a turma os circuitos montados.

Nas sequências de turnos do quadro 23 apresento uma das discussões que estabeleci com o grupo no início da atividade, enquanto desenhavam os esquemas de circuitos (referente ao **item a**).

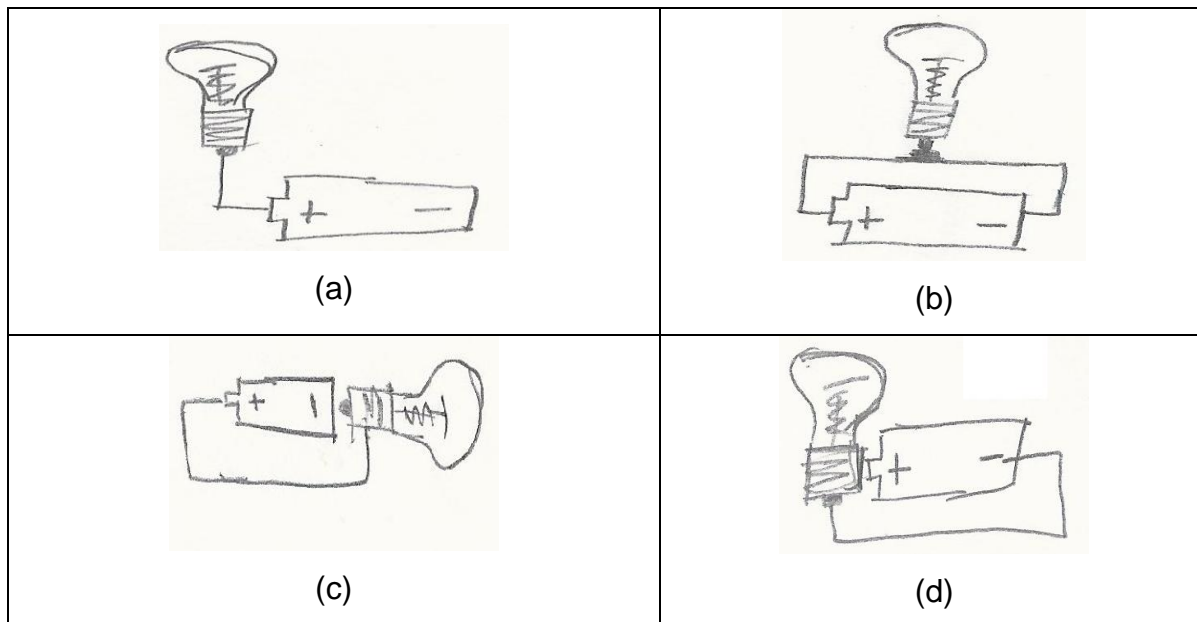
Quadro 23: Fragmentos das falas das estudantes e do professor no primeiro episódio.

<b>1</b>	[E503]: Professor é tipo assim que é para fazer? {a estudante mostra um esquema de circuito que desenhou}
<b>2</b>	[Professor]: Isso mesmo. Tentem desenhar o máximo de circuitos que puderem. Depois deverão testá-los.
<b>3</b>	[E513] Mas esse não vai funcionar nunca!! {Aponta para dois esquemas diferentes}.
<b>4</b>	[Professor] Como sabe se nem foram testados?
<b>5</b>	[E513] Ela só ligou no polo positivo da pilha. {referindo-se ao esquema que a E503 desenhou}
<b>6</b>	[E525] Mas vamos testar ele depois. Acho que não funciona porque eu já vi um circuito uma vez e a ligação é feita nos dois pólos da pilha.
<b>7</b>	[Professor]: Testem todos, não custa nada! Mas lembrem de que depois deverão explicar por que funcionou ou não.

A discussão no início da atividade demonstrou que as estudantes tinham níveis de entendimentos diferentes sobre o assunto abordado. O circuito montado pela estudante E503 (quadro 24[a]) evidenciou uma *concepção alternativa* sobre o assunto abordado na aula. Embora a estudante E513 não concordasse com o esquema desenhado, a estudante E503 queria que seu esquema fosse testado. Esse tipo de atividade, com certo grau de abertura, favorece a liberdade na busca de

respostas para as questões levantadas (BORGES, 2002). O esquema foi mantido na folha de dados para ser testado.

Quadro 24: Esquemas de circuitos desenhados pelas estudantes no segundo episódio.



Mesmo tendo essa aparente disputa entre as estudantes E513 e E503 no início da atividade, as atitudes delas com respeito à aprendizagem foi notória. Ao longo desse primeiro episódio percebe-se nas suas ações que muitas decisões foram tomadas colaborativamente ('A2') e respeitando-se as diferenças<sup>13</sup> ('A3'). Considero normal, em uma atividade como essa, que a estudante defenda suas hipóteses a ponto de querer testá-las. Este tipo de circuito desenhado especificamente pela estudante E503 é uma concepção alternativa muito comum nas atividades dessa natureza (POZO; GOMES-CRESPO, 2009).

No início da atividade as estudantes deveriam elaborar esquemas de circuitos para acender a lâmpada. A estudante E528 estava ansiosa para iniciar os testes. A estudante E503 era quem desenhava os circuitos. Nesse primeiro momento a interação entre elas não foi tão expressiva. Dentre os vários esquemas de circuitos criados, somente alguns foram discutidos. Na transcrição, a seguir, há um diálogo interessante da estudante E502 com as colegas (quadro 25).

<sup>13</sup> Sociais e, principalmente, as diferenças cognitivas.



Quadro 25: Fragmentos das falas das estudantes no primeiro episódio.

8	[E528]: Se eu mudar a posição da lâmpada e ligar o fio no topo dela?
9	[E502]: Vai fazer mudar o circuito. Mas para o circuito funcionar o fio tem que encostar na parte lateral e no topo da lâmpada. A lâmpada de casa é assim também. A parte lateral tem uma rosca que se encaixa no bocal, nunca viu?
10	[E516]: Ah entendi, tem uma rosquinha! {Aponta para a lâmpada}.
11	[E525]: Eu já troquei uma lâmpada uma vez e é verdade. São dois contatos na rosca e no topo da lâmpada.

Após o diálogo das estudantes E528, E502, E516 e E525, esquemas de circuitos mais sofisticados foram aparecendo (quadro 24 [c] [d]). Tanto que, nas falas das estudantes E525 (turno de fala 6) e E502 (turno de fala 9), elas demonstram a relação do conteúdo a algo que já viram ou experimentaram. A atividade evidenciou os conhecimentos prévios das alunas, resgatados em suas manifestações e com suas ligações com os acontecimentos cotidianos. Vários autores (MOREIRA; MANSINI, 1981; AUSUBEL, 2003; AUSUBEL et. al, 1980) discutem a relevância desses *conteúdos* já contidos na estrutura cognitiva dos alunos, necessários para a ancoragem de novas informações. Nos turnos 6 e 7 as estudantes fazem conexões do assunto abordado na prática com aqueles vistos no seu dia a dia, o que favorece sua reflexão sobre a relevância e o possível interesse das situações propostas, de forma a não se ter um estudo descontextualizado e socialmente neutro.

As hipóteses levantadas pelas estudantes ('P3') foram testadas posteriormente ('P5'). No quadro 24 apresentamos quatro esquemas desenhados por elas, porém, elas conseguiram elaborar vários esquemas de circuitos ('P1') (total de oito esquemas). Depois de discutirem sobre o funcionamento da lâmpada passaram a estruturar ideias e executar procedimentos ('P4') mais sofisticados. Foi possível perceber evolução dos esquemas desses circuitos desenhados à medida que dialogavam com seus pares, a partir das minhas mediações e das suas ações individuais. Dentre os vários circuitos desenhados, muitos estavam "sem perna e cabeça", ou seja, enquanto realizavam os testes (referente ao **item b**) se davam conta de alguns erros cometidos. Os turnos transcritos no quadro 26 evidenciam isso.

Quadro 26: Fragmentos das falas das estudantes no primeiro episódio.

12	[E513]: Falei que esse circuito não iria funcionar, falei... {referia-se ao circuito desenhado pela estudante E503}
----	---

13	[E503]: Não funcionou por quê?
14	[E516]: Tem que tocar nos pólo negativo da pilha também.
15	[E525]: Tem que fazer um caminho para a corrente circular pelo circuito. Os elétrons livres do metal.
16	[E503]: Aham.
17	[E513]: Vamos comparar com esse circuito {As estudantes E525, E528 e E503 montam um circuito que funcionou (quadro 2-d)}
18	[E502]: Está vendo E503 o caminho, o circuito?
19	[E513]: Tem que encostar na lâmpada o fio e passar num dos lados da pilha e deve retornar até a outra parte da lâmpada.
20	[E525]: Temos que fazer um caminho completo para a corrente elétrica circular.

Ao longo desse primeiro episódio as ações mais significativas giravam em torno das estudantes E503, E513 e E525. O respeito mútuo sempre ocorreu, apesar da estudante E513, às vezes, não concordar com os rumos da investigação (turno de fala 12). A estudante E503 ficou um pouco frustrada no início, mas a partir das reflexões e do diálogo com as colegas, conseguiu compreender o tipo de ligação que fazia a lâmpada acender. Em uma visita ao grupo, conversei sobre os esquemas que não funcionaram (quadro 27).

Quadro 27: Fragmentos das falas das estudantes e do professor no primeiro episódio.

21	[Professor]: E aí! Aquele esquema funcionou? {referia-se ao esquema do quadro 23[a]}
22	[E503]: Não professor. Mas eu consegui entender por que...
23	[Professor]: Me explica então.
24	[E503]: É muita coisa. A corrente tem que circular né? O fio deve tocar nos dois contatos da lâmpada e da pilha. Naquele esquema a corrente não atravessava o circuito.
25	[Professor]: Alguém quer falar alguma outra coisa?
26	[E528]: A pilha esquentava às vezes por que professor?
27	[Professor]: Que tipo de ligação fazia a pilha esquentar? {apontou para o esquema que fazia aquecer a lâmpada (quadro 2-b)}
28	[E528]: Se segurar por um tempo a pilha fica quente!
29	[Professor]: Vamos investigar. Olha o esquema e me responda: a corrente elétrica atravessa a lâmpada?
30	[E503]: Não porque o fio só toca o topo dela.
31	[Professor]: E essa corrente elétrica que fica atravessando o circuito, o que acontece com ela?
32	[E525]: A corrente elétrica não é utilizada para nada então aquece a pilha.
33	[E513]: O fio deve ficar quente também então né? Vamos testar. {As estudantes E502 e E516 fazem a ligação}
34	[E502]: Vou segurar por muito tempo.
35	[E516]: Parece que está um pouco quente sim.
36	[Professor]: Isso é chamado de curto-circuito e nós vamos estudar isso com mais detalhes depois.

A estudante E528 fez uma pergunta curiosa. Ao testar um dos circuitos do esquema percebia que a pilha se aquecia. A ligação do tipo curto-circuito era comum na maioria dos grupos, mas essa estudante conseguiu reconhecê-la. Ao verificar o circuito montado percebi que a corrente não atravessava a lâmpada e chamei a atenção de todos para investigarem porque a pilha ficava quente (quadro 27 e turno de fala 27). Nessa investigação todas as estudantes estavam envolvidas, enquanto umas conversavam comigo outras faziam os testes. Todas colaboravam com a investigação ('A1'), o que denota o envolvimento delas com a situação problema. Apesar do foco sobre o funcionamento do circuito ter desviado, a discussão foi interessante por apresentar o “curto-circuito”, ligação muito presente no dia a dia e a responsável por muitos incêndios domésticos.

No **item c** da atividade, o grupo G2 deveria explicar seus circuitos elétricos para a turma. A estudante E513 foi quem falou para a turma. Assim como todos os outros grupos, todos foram para frente da sala. A estudante E503 desenhou dois esquemas no quadro, um que funcionou (quadro 24[b]) e o outro com “curto-circuito” (quadro 24[d]). Parte desse relato está no quadro 28.

Quadro 28: Fragmentos das falas das estudantes e do professor no primeiro episódio.

<b>37</b>	[E513]: Desenhemos vários esquemas de circuitos, mas falaremos de apenas dois deles. O primeiro é o circuito do tipo curto-circuito. A corrente que atravessa o circuito não é utilizada pela lâmpada e retorna a pilha. O aquecimento gerado é devido a isso. O segundo circuito foi aquele que funcionou. A corrente elétrica atravessa a lâmpada fazendo ela brilhar. Agora a corrente está sendo utilizada.
<b>38</b>	[E528]: Só detectamos o curto circuito porque mantemos o circuito funcionando por um tempo. Pensei que fosse explodi.
<b>39</b>	[Professor]: Alguém notou isso também, esse aquecimento?
<b>40</b>	[E512]: Percebi também professor, pensei que fosse minha mão que estava quente. {Estudante de outro grupo}
<b>41</b>	[E520]: Vocês não vão falar da tensão da pilha?

As respostas dos grupos variavam muito, pois, alguns davam explicações levando em conta a voltagem da pilha e outros davam importância ao fluxo de elétrons (corrente elétrica) estabelecido no circuito elétrico. Havia aqueles que falavam da resistência do filamento, do aquecimento e do brilho da lâmpada. Nessa turma todos tentavam dar explicações diferentes para o acendimento da lâmpada, o que justifica o porquê de o estudante E520 (pertencente a outro grupo) fazer a pergunta no final

da fala do grupo (quadro 28 turno de fala 41). A pergunta do estudante não foi respondida, e assim, solicitei que o seu grupo, quando fosse apresentar, falasse da influência da voltagem da pilha no acendimento da lâmpada. Todos os grupos tinham que explicar o acendimento das lâmpadas para a turma. Usei dessa estratégia para fomentar respostas diferenciadas para o problema.

Nesse primeiro episódio da atividade, as estudantes, em geral, foram muito bem. Houve uma boa participação de todas as integrantes do grupo, eles colaboraram com a investigação e tiveram momentos de discussões, de divergências e de aceitação de ideias ('A1' e 'A2'). Realizaram inferências ('P6'), exposição oral dos conteúdos ('P9') e construíram sínteses ('P7'). Elaboraram hipóteses ('P3'), reelaboraram as hipóteses depois de testá-las ('P5') e, ainda, construíram explicações para os fenômenos ('P4'). Percebemos que o grupo foi evoluindo à medida que: i) se apropriavam da atividade; ii) discutiam e desenhavam os novos esquemas de circuitos; iii) testavam e, quando não funcionavam, e passaram a discutir os motivos dos erros cometidos; iv) comparavam com os resultados malsucedidos com aqueles bem-sucedidos.

Apresentamos, a seguir, as ações estabelecidas no segundo episódio (quadro 29). Nessa parte da atividade o grupo se dispersou um pouco e o trabalho colaborativo foi tão acentuado como no primeiro episódio. Talvez pelo fato da primeira atividade exigir muito esforço deles, diferentemente de uma aula tradicional em que só ouvem e copiam do quadro. O aprendizado é um processo ativo e contínuo (AUSUBEL, 2003), é conquistado por meio da interação deles com a atividade, com a responsabilidade pelas planificações dos trabalhos desenvolvidos. Minha participação nesse processo é a de encorajá-los, de oferecer situações que os desafiem a encontrar soluções próprias para os problemas a partir de uma postura ativa (AZEVEDO, 2004; BORGES, 2002; CARVALHO, 2009).

Quadro 29: Ações empreendidas do grupo G2 ao longo do segundo episódio.

Questões	Ações empreendidas no segundo episódio
2	9) O grupo inicia a atividade. O professor orienta o grupo na realização da tarefa.
	10) O grupo afirma que a pilha média (C) produzirá o maior brilho na lâmpada.
3	11) As estudantes montam os circuitos e buscam explicações para explicar o brilho.
	12) As estudantes discutem com o professor os resultados observados nos testes.
	13) O professor pergunta o que aconteceria se as lâmpadas fosse de deixadas ligadas por algum tempo.
4	14) As estudantes respondem a questão e conclui a atividade.

Nesse episódio (quadro 29) a estudante E528 estava muito dispersa e não participou muito das tomadas de decisões do grupo. Talvez fosse o cansaço, pois a primeira atividade exigiu muito esforço do grupo e a segunda parte da atividade foi desenvolvida numa aula subsequente. A questão 2 foi respondida rapidamente pelo grupo e todos chegaram num consenso de que a pilha maior (a *pilha média C*), segundo eles, faria a lâmpada brilhar mais. Assim como no grupo (G1), a hipótese era a de que a corrente elétrica seria maior. As falas a seguir mostram uma discussão que tiveram enquanto resolviam a primeira parte da atividade (quadro 30).

Quadro 30: Fragmentos das falas das estudantes no segundo episódio.

42	[E513]: Acho que a pilha média vai fazer brilhar mais. Por ela ser maior, dever fazer mais corrente no circuito.
43	[E525]: Eu penso assim também. Mas a voltagem é a mesma. Todas possuem 1.5 V.
44	[E516]: Quer dizer que a pilha palito faz fluir menos elétrons? Como, como se a tensão é a mesma?
45	[E525]: Vamos perguntar ao professor.
46	[E502]: Ele não vai responder. Ele vai querer que a gente descubra sozinhas.
47	[E513]: Vamos colocar aquilo que falei mesmo. O brilho será mais intenso quando utilizamos a pilha maior porque a corrente será maior. Tudo bem?
48	[E525]: O problema é que não podemos mudar essa resposta depois, mas tudo bem.

A hipótese levantada foi que o brilho seria maior se a lâmpada fosse acesa com a pilha média. O argumento da estudante E513 era que a pilha média produziria uma corrente elétrica maior no circuito, entretanto, a estudante E516 tinha dúvidas em relação a voltagem da pilha. A fala da estudante E525 (no turno de fala 43) evidencia as “dúvidas” do grupo na atividade. Talvez seja o resultado da pouca

discussão estabelecida no episódio, entretanto, elas sabiam que eu não daria respostas prontas para elas (turno de fala 45) e que precisariam discutir para chegar em um consenso. Elas tinham medo de errar a questão e criar respostas sem sentido (turno de fala 48).

O grupo inicia a segunda parte da atividade (questão 3) e fizeram os testes utilizando as pilhas de tamanhos variados. A seguir, apresentamos um trecho da discussão a respeito dos brilhos das lâmpadas e que estavam em desacordo com as hipóteses levantadas.

Quadro 31: Fragmentos das falas das estudantes no segundo episódio.

<b>49</b>	[E516]: Com a pilha palito o brilho é mais forte, por quê? {a estudante inferiu que a pilha palito produziu maior brilho}
<b>50</b>	[E513]: Não sei.
<b>51</b>	[E528]: O brilho tem a ver com a quantidade de elétrons livres que atravessa o filamento.
<b>52</b>	[E513]: Tem a ver com as voltagens das pilhas também.
<b>53</b>	[E516]: Hum... Vai depender das lâmpadas, aqui acendeu fraquinho. {a ponta para outro circuito}
<b>54</b>	[E513]: Esse negócio de testar um circuito, gravar o brilho. E depois fazer outra vez não tá dando certo.
<b>55</b>	[E502]: Tem que acender todas ao mesmo tempo.

Nos turnos de falas 51, 52 e 53 temos três hipóteses diferentes para o acendimento da lâmpada. A primeira hipótese tem a ver com a corrente elétrica que as pilhas produzem, a segunda é que o brilho depende da voltagem da pilha e a terceira é que o brilho depende do tipo de lâmpada utilizada. Isso significa que o grupo, apesar de elaborar hipóteses a respeito do acendimento das lâmpadas ('P3'), não chegou a um consenso sobre o problema em questão. Os modelos explicativos elaborados pelas estudantes ('P4') estavam confusos. Talvez tenham faltado discussões mais profundas entre os membros do grupo a respeito das características e do funcionamento da pilha, o que resultou na dificuldade de entendimento da situação estudada. A partir das falas apresentadas no quadro 32, percebeu-se que as estudantes passaram a entender melhor o que estava acontecendo.

Quadro 32: Fragmentos das falas das estudantes e do professor no segundo episódio.

56	[E502]: O Professor! Qual que acende mais? {Ela estava meio desesperada}
57	[E503]: É essa aqui com certeza. {Aponta para a pilha média... <b>Depois, realizam o experimento na minha presença acendendo as três ao mesmo tempo conforme sugeria a estudante E502</b> }
58	[E525]: Ah o brilho é mesma coisa. Mas onde já se viu com a pilha palito brilhar mais do que com a pilha média?
59	[Professor]: O brilho é o mesmo ou não? Porque vocês acham que o brilho é maior com a pilha média?
60	[E503]: Vai liberar mais elétrons do que a pilha pequena.
61	[E516]: A voltagem é a mesma né?
62	[Professor]: Sim. Todas possuem 1,5 V. Está escrito nela.
63	[E513]: Ah!! Então os brilhos são todos iguais ué!
64	[E525]: Me bateu um negócio na cabeça. As três pilhas são de 1,5 V, mas se tivessem correntes diferentes cada uma delas, as potências nas lâmpadas seria diferentes.
65	[E513]: Isso mesmo, faz sentido...
66	[Professor]: Não faça isso vai queimar a lâmpada! {enquanto isso a estudante E528 tentava queimar a lâmpada ligando-a a várias pilhas em série}
67	[E525]: O brilho é diferente? Eu vi elas brilharem igualmente.
68	[Professor]: O brilho depende só da voltagem da pilha?
69	[E513]: Não. Da corrente elétrica também.
70	[E516]: É. Da corrente também. {realizaram o teste novamente agora apenas com as pilhas média e palito}
71	[E525]: O brilho é igual gente. E agora por quê?
72	[E513]: Acho que porque se a tensão é a mesma a corrente será a mesma independente do tamanho dela.
73	[E503]: O brilho é mesmo pessoal. Acho que a pilha maior vai durar mais.

Toda essa discussão gerou muitos conflitos de ideias. A interação com o experimento produziu momentos de reflexão no grupo. Percebi que em investigações como esta, na parte prática, quando estão realizando os testes ('P5') e reelaborando modelos explicativos ('P3' e 'P4'), aumentam-se potencialmente as chances de encontrarem as soluções dos problemas.

Infelizmente a estudante E528 não participou muito dessa discussão, e foi necessário chamar sua atenção (turno de fala 66). Ela estava distraída, brincando com o experimento, o que empobreceu um pouco o trabalho colaborativo ('A2'). Até o término dessa atividade, ela participou pouco das tomadas de decisões do grupo. Apesar disso, as outras integrantes do grupo tiveram um posicionamento crítico e

investigativo perante a situação problema ('A1'), de modo que não desistiram diante das frustrações ocorridas pelo fato de suas previsões não terem sido confirmadas.

Desde o início a estudante E525 percebeu que os brilhos seriam os mesmos (turno de fala 58), mas não acreditou nas suas observações. Apesar de muito preocupada com a questão, foi a aferição ('P6') do brilho da lâmpada invocada por ela que fomentou a discussão para o problema. No final, a estudante E513 concluiu a hipótese de que o brilho seria o mesmo independente do tamanho da pilha. Embora essa hipótese tivesse meio vaga, a fala da estudante E503 no final serviu de "gancho" para outras discussões em torno do problema. Nos turnos a seguir destacamos essa parte da discussão (quadro 33).

Quadro 33: Fragmentos das falas das estudantes e do professor no segundo episódio.

74	[Professor]: Se eu deixar as três lâmpadas ligadas ao mesmo tempo, o que acontece?
75	[E503]: A lâmpada ligada na pilha palito vai apagar primeiro.
76	[Professor]: Todos concordam? Por que isso acontece?
77	[E525]: É verdade. A pilha palito tem menos fluidos e acaba muito rápido.
78	[E502]: Acho que a pilha média tem menos resistência.
79	[E525]: Por que tem menos resistência? Só por que ela é maior?
80	[E502]: É, que nem, por exemplo, você vai passar por uma porta pequena com duas pessoas é mais difícil do que passar com uma.
81	[Professor]: Tenta ser mais clara E502.
82	[E502] Na última aula { <b>atividade sobre os efeitos da corrente elétrica</b> <sup>14</sup> } a gente viu que os materiais possuem resistências né? Se pilha maior demora mais para acabar a força dela, acho que porque ela tem baixa resistência.

Os turnos de fala nos quais faço questionamentos a respeito do fenômeno estudado foi uma tentativa de ampliar os argumentos dos alunos para solucionar um problema proposto (turnos 74, 76 e 81). A resposta dada pela estudante E502 (turno de fala 78) evidenciou uma inferência ('P6') importante para responder a questão 3. Somente esse grupo levou em consideração a resistência da pilha para responder a questão. A fala da estudante E502, afirmando que a *pilha média* possui menor resistência me surpreendeu. É sabido que a resistência interna de uma pilha cresce devido ao uso e se torna tão grande que não permite que a intensidade da corrente seja suficiente para alimentar o dispositivo utilizado. Ao invés de dar respostas, fiz

<sup>14</sup> Atividade realizada anterior a essa.



questionamentos a respeito da fala da estudante E502 solicitando suas participações.

Na questão 4, elas deveriam explicar o problema. Enquanto discutiam as questões, as anotações ficavam por conta da estudante E503. Na folha de resposta do grupo, sugeriram que o brilho das lâmpadas seria o mesmo independente do tamanho da pilha. Colocaram também que a durabilidade da pilha só era possível devido à diferença de resistências delas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo de cinco anos, como professor de Física do Ensino Médio do Estado do Espírito Santo, tive a oportunidade de presenciar inúmeros desafios inerentes a profissão de professor. Pude vivenciar o trabalho de alguns professores, refletir sobre as relações estabelecidas no âmbito escolar, o papel dos professores, dos alunos, da escola e da sociedade. Nesse trabalho tive a oportunidade de desenvolver a estratégia de ensino por investigação numa escola pública onde transformamos os desafios em oportunidades.

Um dos desafios encontrados foi o de inserir a estratégia do ensino por investigação como uma maneira de pensar e repensar a escola e o currículo na prática pedagógica. Abandonamos a narrativa do livro texto, do quadro e giz e passamos a considerar os estudantes como centrais no processo de ensino, interagindo, buscando soluções para os problemas e argumentado com autonomia.

A pesquisa em questão é de grande importância, pois utiliza a perspectiva do ensino por investigação, estratégia de ensino que vem sendo discutida por vários autores (AZEVEDO, 2004; BORGES, 2002; CARVALHO, 2009; GIL-PÉREZ, 2005), como capaz de potencializar uma aprendizagem significativa dos alunos, além de ser uma estratégia na qual as atitudes do professor se aproximam dos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, contribuindo, assim, para a formação de aluno ativo e crítico. Essa estratégia de ensino favorece a negociação de significados, levando a um processo de assimilação ou modificação dos subsunçores, expressos nas falas dos estudantes, sendo possível a identificação da evidência do novo conhecimento que construíram colaborativamente, sem a memorização do conteúdo.

Neste estudo longitudinal, foi possível observar as aprendizagens no domínio conceitual, procedimental e atitudinal alcançadas pelos estudantes durante as aulas. Isso torna ensino por investigação importante para compreensão das ciências, pois aguça a curiosidade dos estudantes, possibilitando o envolvimento destes com o processo de construção do conhecimento *a partir de uma postura ativa*, mesmo diante dos desafios de uma estratégia de ensino que eles não estavam

familiarizados, com a presença de uma câmera de vídeo e com a falta de oportunidade de discussão nas aulas tradicionais.

A possibilidade de responder uma questão interessante permitiu aos estudantes externalizarem seus conhecimentos prévios acerca dos conceitos físicos relevantes para o estudo da Eletrodinâmica, contribuindo para o processo da aprendizagem significativa. Ao invés de só ouvirem e copiarem do quadro, passaram a atuar nas aulas, ou seja, a estratégia do ensino por investigação produziu uma mudança social na sala de aula, visto que acarretou uma maior responsabilização dos estudantes pela sua aprendizagem (AZEVEDO, 2004; CAPECCHI, 2013; CARVALHO, 2006).

A descoberta dos subsunçores provenientes de sua experiência de vida, de tal modo incorporado e disponível na estrutura cognitiva do indivíduo, se tornou importante não apenas para potencializar as novas aprendizagens (conceitual, procedimental ou atitudinal), mas também para a construção dos materiais curriculares (AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MANSINI, 1982). Para atender a demanda da estratégia do ensino por investigação, investimos tempo e esforço na construção da Unidade Investigativa de Ensino. A Unidade contempla o material de cunho conceitual de Eletrodinâmica, as atividades investigativas e os Objetos de Aprendizagens utilizados no estudo. O material conceitual foi construído a partir de uma pesquisa profunda sobre o tema. Aprofundamos nas discussões teóricas de alguns temas que considerávamos importante, discussões essas que não encontramos nos livros didáticos atuais. Sobre as imagens utilizadas no material, havia a preocupação sobre direitos autorais, e com muito esforço, produzimos boa parte delas. O tempo gasto para conceber cada imagem valeu à pena, pois, o material foi de grande utilidade para a evolução do estudo. Os textos foram lidos por outros professores de Física, que validaram o material.

As atividades investigativas foram concebidas ao longo do processo. Eram atividades envolvendo experimentos reais, simulações e outras que exigiam interpretação de textos. Todos os recursos utilizados nas atividades foram simples e baratos, além de serem de fácil manipulação pelos estudantes, sendo viável em qualquer sala de aula, mesmo a partir das séries iniciais, para que os estudantes possam desenvolver e se acostumar com uma postura necessária para o

desenvolvimento de uma atividade investigativa. No desenvolvimento das atividades utilizamos os Objetos de Aprendizagens (Sosteric; Hesemeier, 2002) que tinha por objetivo principal tornar o ensino mais dinâmico de modo a envolver mais os estudantes nas aulas. Coletamos informações a respeito de cada Objeto de Aprendizagem (imagens, vídeos, softwares e simulações) utilizado se era viável ou não sua utilização.

A possibilidade de implementação da estratégia do ensino por investigação só será possível pela presença de *um professor preparado* para promover a discussão e argumentação entre os alunos, pois a forma do trabalho em sala de aula deve favorecer tal desenvolvimento. A mediação dos grupos que se reuniram para solucionar as atividades não foi tarefa fácil. Mesmo em turmas pequenas, tive dificuldades de orientar os grupos de forma adequada, de perceber e atender a cada um deles de modo consciente. Em alguns casos, a natureza das atividades somadas, às diversidades dos grupos, aumentaram ainda mais essa dificuldade. Desta forma, o ensino por investigação mostra-se eficiente para promover a aprendizagem significativa dos alunos, desde que nós professores estejamos preparados para a mudança.

Constatamos por meio do tratamento Rasch, método estatístico sofisticado de análise de dados, que houve evolução de aprendizagem conceitual ao longo do estudo longitudinal. Esses resultados são frutos do compromisso dos meus alunos, que receberam bem a estratégia de ensino por investigação. Em troca desse compromisso, procuramos desenvolver atividades que os instigassem e despertassem o interesse, ao invés de afastá-los. Atividades que tornassem as aulas muito mais dinâmicas, que fossem problematizadoras (CAPECCHI, 2013), que atraíssem a atenção dos alunos e que favorecessem a participação individual e em grupo (AZEVEDO, 2004).

Na apresentação dos resultados dos *procedimentos* e *atitudes* adotados pelos estudantes, expusemos a transcrição de fala nos dois episódios da atividade “Circuitos elétricos simples”. É importante frisar que não era a intenção discutir os erros conceituais cometidos (apesar de alertá-los sempre) por eles, mas verificar a forma como lidavam com o trabalho investigativo, ou seja, as posturas relacionadas

àquilo que “deviam fazer” (inferir, construir, associar, comparar, associar, etc.) e àquilo que “deviam ser” (flexível, amigáveis, respeitosos, etc.) de acordo com as ideias de Coll (1986 *apud* Zabala (1998)); Pozo; Gomez-Crespo (2009).

Os resultados apontam que em ambos os grupos investigados obtivemos a ocorrência de *atitudes com respeito à ciência e com respeito à aprendizagem de ciências*. Enquanto realizavam as atividades, em geral, os estudantes tiveram posicionamentos críticos perante as situações-problemas e trabalharam de forma colaborativa, integrando e respeitando os membros do grupo, sendo tolerantes, cooperativos e respeitosos.

Em relação às aprendizagens procedimentais favorecidas nas atividades investigativas, destacamos: i) a estruturação das ideias por meio da linguagem escrita e oral; ii) a interpretação de ideias e execução de procedimentos; iii) a elaboração de hipóteses; iv) o desenvolvimento de modelos explicativos; v) a realização de teste de hipóteses; vi) a realização de inferências; vi) a construção de sínteses. Todos esses procedimentos foram potencializados nas ações dos estudantes no desenvolvimento das atividades. Isso significa que o ensino por investigação aqui proposto pode ser explorado no ensino de Física para propiciar a aprendizagem significativa dos estudantes nos três domínios (conceitual, procedimental e atitudinal). Esse tipo de ensino tem potencial de libertá-los, de torná-los cidadãos mais críticos, reflexivos e autônomos e que saibam atuar na sociedade em que vivem. As posturas anteriores, relativas ao ensino tradicional, são rompidas e os estudantes transitam para uma nova zona em que são participantes ativos de suas aprendizagens.

Esperamos que os professores comecem a prática do ensino por investigação em suas aulas, pois ao tornar este processo como parte integrante de suas estratégias de ensino, estarão potencializando a aprendizagem significativa de seus alunos. Além disso, ao implementar essa estratégia, combinada à teoria da aprendizagem significativa, poderão contribuir, cada vez mais, com a reflexão sobre a qualidade do ensino de Física que está sendo proposto nas escolas.

## REFERENCIAS

- AIKENHEAD, S. Glen. **Educação científica para todos**. Tradução de Maria Teresa Oliveira. Portugal: edições Pedagogo, 2005 a.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- AUSUBEL, David. P. Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.
- AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p.19-33.
- BARROW, L. H. A brief history of inquiry: from Dewey to standards. Journal of Science Teacher Education, v.17, n.3, p.265-278, 2006.
- BAILEY, K.M. 1990. The use of diary studies in teacher education programs. In: J. RICHARDS & D. NUNAN (Eds.). Second language teacher education. New York: Cambridge University Press.
- BORGES, A. T. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 19, n. 3, p.291-313, dez. 2002.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., et al. (2006). The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness. Colorado Springs, CO: BSCS.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação. **Parâmetros curriculares nacionais: ciências naturais**. Brasília: MEC/SEF, 1997.136 p.
- BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002, 144p.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, v.2, 2006, 135p.
- CACHAPUZ, António et. al. **A necessária renovação do ensino de ciências**. 2.ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- CACHAPUZ, António; PRAIA, João; JORGE, Manuela. Da educação em ciência às orientações para o ensino das ciências: um repensar epistemológico. Revista **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 363-381, 2004.

Capecchi, M.C.V.M. Problematização no ensino de Ciências. In: Carvalho, A.M.P. (Org.) Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula. 1.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 21-39

CARVALHO, A. M. P. Ciências no ensino fundamental: o conhecimento físico. São Paulo: Scipione, 1998.

CARVALHO, Ana Maria Pessoa. **Critérios estruturantes para o Ensino de Ciências**. 1-17, 2004. In: CARVALHO, Ana Maria Pessoa (org.); Ensino de ciências, unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

COELHO, G. R.; Amantes, A. A influência do engajamento sobre a evolução do entendimento dos estudantes em eletricidade. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v. 13, n 1, p.48-72 ,2014.

COELHO, G. R.; BORGES, O. A evolução do entendimento dos estudantes sobre o funcionamento do circuito elétrico simples em uma estrutura curricular recursiva. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. Vol. 11 No1, 2011.

DANCEY, C.P., & REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia: Usando SPSS para windows**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

DeBoer, G. E. (2006). Historical perspectives on inquiry teaching in schools. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education(pp. 17-35). Dordrecht: Springer.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNANBUCO, Marta Maria. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 4ª ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral**. Ciência & Educação, v. 18, p. 99-122, 2012.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário aurélio eletrônico da língua portuguesa** .Versão 3.0. Rio e Janeiro: Nova Fronteira, 2002.

GIL-PEREZ, D.; VILCHES, A. La participación en el debate educativo como deber ciudadano. Comentarios y sugerencias em torno al documento “Una educación de calidad para todos y entre todos”. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, México, v. 2, n. 2, p. 251-268, 2005

GRAVINA, M. H. & BUCHWEITZ, B. Mudanças nas Concepções Alternativas de Estudantes Relacionadas com Eletricidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 16, 110-119, 1994.

Hodson, D. (1998). Teaching and learning science: Towards a personalized approach. Buckingham/Philadelphia: Open University Press.

LINACRE, J. M. **A user's guide WINSTEPS and MINISTEPS rach-model computer program**. 488 p, 2009.

LINACRE, J. M.; WRIGHT, B. D. **WINSTEPS (Programa de computador)**. Chicago: MESA Press, 2000.

LUDKE, Menga; ANDRE, Marli Elisa Dalmazo Afonso. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MARANDINO, Martha. **A Prática de ensino nas licenciaturas e a pesquisa em ensino de ciências: questões atuais**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 20, n. 2, p. 168-193, 2003.

MILLAR, R. Um **currículo de ciências voltado para a compreensão por todos**. Revista Ensaio. Vol 5, nº 2, outubro/2003.

MILLER, Steve. **Os cientistas e a compreensão pública da ciência**. In: Terra Incógnita a interface entre ciência e público. Vieira & Lent: UFRJ, Casa da Ciência: FIOCRUZ, Rio de Janeiro, p. 121, 2005.

MIRAS, M. Um ponto de partida para a aprendizagem de novos conteúdos: Os conhecimentos prévios In Coll C. et al. (Eds.), O construtivismo na sala de aula. São Paulo: Ática, 1998.

MOREIRA, Marco A. A Teoria de Ausubel. In: Aprendizagem Significativa. Brasília: Editora UnB, 1999.

MOREIRA, Marco A. Aprendizagem significativa crítica. Porto Alegre. 2005

MOREIRA, Marco A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. In: Encontro Internacional sobre el aprendizaje significativo. 1997, Burgos. MOREIRA, M.A. et al. Orgs.) Actas. Burgos: Universidade de Burgos, 1997, p.19-44.

MOREIRA, M.A.; MASINI, E.A.F.S. Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Editora Moraes. 1982.

MORTIMER, E. F. et al. Uma metodologia para caracterizar os gêneros de discurso como tipos de estratégias enunciativas nas aulas de Ciências. In: NARDI, R. (Org.). A pesquisa em ensino de Ciências no Brasil: Alguns recortes. 1 ed. São Paulo: Escrituras, 2007

MUNFORD, D. e LIMA, M. E. C. de C. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo? **Revista Ensaio**, v. 1, 2008.

NRC (National Research Council) (1996). National Science Education Standards: observe, interact, change, learn. Alexandria, Virginia: National Academy Press.

NOVAK, J. D. Aprender, criar e utilizar o conhecimento. Lisboa: Plátano Técnicas, 2000.



PACCA, J. L. A.; FUKUI, A.; BUENO, M. C. F.; COSTA, R. H. P.; VALÉRIOS, R. M.; MANCINI, S. Corrente Elétrica E Circuito Elétrico: Algumas Concepções Do Senso Comum. Caderno Brasileiro De Ensino De Física, n. 20, p. 151- 167, 2003.

PELIZZARI, A. et al. (2002). Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. Revista PEC, 2(1), 37-42.

PENTEADO, Paulo César M.; TORRES, Carlos Magno A. **Física, Ciência e Tecnologia**. v. 1; 1. ed.; São Paulo: Moderna, 2011.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PRÄSS, A. R. **Teorias da aprendizagem**. Porto Alegre. 2008.

RODRIGUES, B.A.; BORGES, A.T. **O ensino de ciências por investigação: uma reconstrução histórica**. Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Curitiba, 2008.

SINGER, J. D; WILLETT, J. B. **Applied Longitudinal Data Analysis: Modeling Change And Event Occurrence**. New York: OXFORD, 2003.

SOUZA, D. R. JR.; COELHO, G. R. Elaboração de uma unidade de ensino sobre Eletrodinâmica com enfoque investigativo. In: **XX Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 2013, USP - São Paulo, SP. SNEF 2013, 2013.

TEIXEIRA, Paulo Marcelo Marini. A Educação científica sob a perspectiva da pedagogia histórico-crítica e do movimento CTS no ensino de ciências. **Revista Ciência e Educação**, vol.9, n.2, 2003, p.177-190.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Tradução: Ernani F. da Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. **As atividades de investigação no Ensino de Ciências na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa**. Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, v. 5, n. 2, p. 12-19, 2010.

ZÔMPERO, A. F.; LÁBURU, C. E. Atividades investigativas no ensino de Ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 13, n. 03, p. 67-80, set./dez. 2011.

WHITE, R. T.; ARZI, H. J. Longitudinal studies: Designs, Validity, Practicality, and Value. **Research in Science Education**, v.35, n.1, p. 137-149, 2005.

## **APÊNDICE**

- I. Termo de consentimento livre e esclarecido
- II. Pré-teste aplicado antes da implementação da primeira atividade.
- III. Pós-teste aplicado depois da implementação da primeira atividade.
- IV. Matéria veiculada no site da Sedu referente a apresentação do artigo no XX SNEF
- V. Produto de Mestrado

## APÊNDICE I. Termo de consentimento livre e esclarecido

### **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

Você está sendo consultados sobre a sua participação, como voluntário, em uma pesquisa educacional. Durante o ano letivo, nas aulas de física lhe serão propostas algumas questões abertas sobre conteúdo de física, as quais devem ser respondidas como tarefas escolares usuais. Seu professor poderá, ou não, corrigir tais questões como parte do processo de avaliação do seu desempenho em Física ou para fazer algum diagnóstico sobre algum aspecto relacionado ao curso que ministra. Pedimos a sua autorização para analisar suas respostas em um estudo sobre como os materiais, recursos, procedimentos e processos utilizados em seu curso de física contribuem para a sua aprendizagem de física. *Este estudo produzirá conhecimento educacional relevante para nós, para nossos futuros alunos e para outros professores e seus alunos.* É conhecimento socialmente relevante. Se você concordar com o uso de suas respostas, podemos lhe garantir que: (i) nos nossos procedimentos de análise adotaremos procedimentos para preservar a sua identidade e resguardar a sua privacidade; (ii) ao divulgarmos os resultados do estudo adotaremos procedimentos que impeçam que você seja identificado. Você não terá nenhum benefício direto pela sua participação, respondendo às questões que lhe serão propostas. Os benefícios serão difusos e indiretos, na medida em que o que aprendermos servirá para desenvolvermos o ensino de física, e que poderá beneficiar você e nossos futuros alunos. Por outro lado, não identificamos qualquer risco potencial em sua participação no estudo. Se você não autorizar o uso de suas respostas para fins de pesquisa, ainda assim elas serão coletadas, porém nós não as utilizaremos em nosso estudo e nem as manteremos em bancos de dados. Suas respostas poderão ser usadas pelo seu professor para fins didáticos: como exercício escolar ou como parte da avaliação escolar. A sua recusa não lhe acarretará nenhuma sanção. Os conhecimentos resultantes deste estudo serão divulgados em revistas especializadas, em congressos e simpósios sobre pesquisas educacionais e em uma dissertação de mestrado. Abaixo estão os dados relativos a este projeto.

**Título do projeto:** O Ensino de Eletrodinâmica numa Perspectiva Investigativa.

**Pesquisador responsável:** Prof. Dr. Geide Rosa Coelho (Orientador).

**Instituição:** Centro de Educação - DTEPE/UFES.

**Telefone para contato:** (27) 4009-2543.

**Pesquisador corresponsável:** Domingos Rodrigues Souza Junior (Mestrando).

**Telefone para contato:** (27) 3223-0282.

**Endereço:** Rua Francisco Araújo, 35, EEEFM - MARIA ORTIZ, Vitória/ES- Cep: 29 015 090.

Objetivo do estudo: Investigar se ocorre aprendizagem conceitual, procedimental e atitudinal com o foco no ensino por investigação no domínio da Eletrodinâmica. A intenção é identificar de forma sistemática se os ambientes de aprendizagem projetados conseguem promover aprendizagens significativas.

---

Assinatura do Pesquisador Responsável

Prof. Dr. Geide Rosa Coelho

e-mail: geidecoelho@gmail.com

Telefone: 4009-2543

Universidade Federal do Espírito Santo

Centro de Educação

DTEPE/UFES

---

Assinatura do Pesquisador Corresponsável

Domingos Rodrigues Souza Junior

e-mail: junior.cef@uol.com.br

Telefone: 3223-0282

Universidade Federal do Espírito Santo

PPGEnsFis

UFES

## **CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO**

Eu li e discuti com o pesquisador responsável pelo presente estudo os detalhes descritos neste documento. Entendo que eu sou livre para aceitar ou recusar e que eu posso interromper minha participação a qualquer momento. Eu concordo que os dados coletados para o estudo sejam usados para o propósito acima descrito.

Eu entendi a informação apresentada nesse documento. Eu receberei uma cópia assinada e datada deste documento de consentimento informado. Declaro que nesta data tenho menos de dezoito anos.

Vitória, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_.

Nome por extenso: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE II. Pré-teste aplicado antes da implementação da primeira atividade

1- Assinale como Falso (F) ou Verdadeiro (V) as proposições abaixo:

A	V	F	Todos os metais são bons condutores de eletricidade.
B	V	F	O metal possui em sua estrutura interna íons e elétrons livres.
C	V	F	Material isolante é aquele que possui em sua estrutura além de elétrons livres, íons positivos e íons negativos.
D	V	F	O vidro é um bom <i>condutor</i> de eletricidade.
E	V	F	Os metais conduzem eletricidade mas são péssimos condutores de calor.
F	V	F	A condutividade é uma grandeza que permite classificar se um material é um bom condutor ou não.
G	V	F	Materiais isolantes podem ser tornar condutores depois de aquecidos.
H	V	F	Todos os gases são bons condutores de eletricidade.
I	V	F	A água pura conduz eletricidade em qualquer situação, por isso faz parte do grupo dos materiais condutores.
J	V	F	Borracha, plástico e grafite são exemplos de bons isolantes.
K	V	F	A água doce é melhor condutora de eletricidade do que a água salgada.
L	V	F	A supercondutividade é uma propriedade física que certos materiais possuem de se tornarem perfeitos condutores de eletricidade quando resfriados.
M	V	F	Os supercondutores não possuem elétrons livres em sua estrutura interna.
N	V	F	Gases como o ar podem também se tornarem condutores se forem aquecidos a temperaturas muito altas.
O	V	F	Os transistores presentes nos microchips são exemplos de materiais semicondutores.
P	V	F	Nos condutores eletrolíticos os portadores de cargas são os íons.
Q	V	F	Nos condutores gasosos os portadores de cargas são os <i>elétrons livres</i> .
R	V	F	Nos condutores metálicos, os portadores de cargas são os <i>íons positivos</i> , provenientes das últimas camadas que estão fracamente ligados ao núcleo do átomo.

### APÊNDICE III. Pós-teste aplicado depois da implementação da primeira atividade

1- Assinale como Falso (F) ou Verdadeiro (V) as proposições abaixo:

A	V	F	Todos os metais são bons condutores de eletricidade exceto os metais líquidos.
B	V	F	Os metais são substâncias que apresentam elevada condutividade elétrica, brilho metálico, <b>ductibilidade</b> (capacidade de ser estirados em fios) e maleabilidade (capacidade de ser forjado em folhas finas).
C	V	F	O metal possui em sua estrutura interna íons e elétrons livres.
D	V	F	Materiais isolantes são aqueles que possuem em sua estrutura elétrons livres com mobilidade de se moverem.
E	V	F	O vidro é um bom <i>isolante</i> de eletricidade.
F	V	F	Os metais conduzem eletricidade e também são bons condutores de calor.
G	V	F	A condutividade é uma grandeza que permite classificar se um material é um bom condutor ou não.
H	V	F	Materiais isolantes podem ser tornar condutores depois de aquecidos.
I	V	F	Todos os gases ionizados são bons condutores de eletricidade.
J	V	F	A água destilada faz parte do grupo dos materiais isolantes.
K	V	F	Borracha, plástico e madeira são exemplos de bons isolantes.
L	V	F	A batata é um condutor de eletricidade porque possui em sua estrutura água e sais.
M	V	F	A supercondutividade é uma propriedade física que certos materiais possuem de se tornarem perfeitos condutores de eletricidade quando resfriados.
N	V	F	Os supercondutores possuem elétrons livres em sua estrutura interna.
O	V	F	Gases como o ar podem também se tornarem condutores se forem aquecidos a temperaturas muito altas.
P	V	F	Os transistores presentes nos microchips são exemplos de materiais semicondutores.
Q	V	F	Nos condutores eletrolíticos os portadores de cargas são os íons positivos e os íons negativos da solução.
R	V	F	Nos condutores gasosos os portadores de cargas são formados apenas por <i>elétrons livres</i> presentes nos gases.

## APÊNDICE IV. Matéria veiculada no site da Sedu (artigo no XX SNEF)




**SECRETARIA DA EDUCAÇÃO**  
 Portal do Governo do Estado do Espírito Santo

MAPA DO SITE

PRINCIPAL
 PAIS & ALUNOS
 WEBMAIL
 TELEFONES DE ESCOLAS
 FALE CONOSCO





### Exibir Notícias

SEDU  
 Notícias  
 Conselhos  
 Educação Pública  
 FEPAD  
 EJA / CEEJA  
 PROVÃO Ens. Fundamental/Médio  
 Educação Especial  
 Escola Aberta  
 Bônus Desempenho  
 Projetos Educacionais  
 Manuais  
 Investimentos em Educação  
 PETE/ES  
 Eliminação de documentos  
 Formação do Magistério  
 Estatísticas e Avaliações  
 Cursos Técnicos  
 Oportunidades

**Professores da rede estadual apresentam trabalhos em Simpósio Nacional de Física em São Paulo**

28/01/2013 - 13:44

Professores de Física da rede estadual apresentaram trabalhos no XX Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), realizado de 21 a 25 de janeiro na Universidade de São Paulo (USP).

Durante o evento professores e alunos do Mestrado Profissional de Ensino de Física da Universidade do Espírito Santo (Ufes) apresentaram os trabalhos desenvolvidos a partir de suas vivências no Magistério da rede estadual do Espírito Santo.

Um dos objetivos do Simpósio foi discutir o que já foi realizado nos últimos encontros, conscientizando os profissionais em relação ao campo educacional, mas, sobretudo, avaliar os progressos já alcançados e planejar ações futuras.

O professor Thiago Polonine falou sobre a importância do evento. "Essa foi uma oportunidade única para a troca de experiências com colegas da área de todo o Brasil, enriquecendo ainda mais a bagagem desses profissionais", avalia.

Entre alguns trabalhos apresentados estão: A utilização dos mapas conceituais no ensino de física: uma experiência com alunos de nível médio acerca do tema calor; As tecnologias da informação e comunicação no ensino de física: desenvolvimento de um módulo educacional baseado no tema gravitação; Elaboração de uma unidade de ensino sobre eletrodinâmica com enfoque investigativo; A utilização do ambiente computacional no estudo de colisões perfeitamente elásticas através de um módulo educacional.



Curso de Língua Brasileira de Sinais

**Guia Didático de Ensino**

**Produto de mestrado:**  
Unidade Investigativa de  
Eletrodinâmica

Domingos R Souza JR  
Geide Rosa Coelho



**PPGEnFis**  
**UFES**



## **DEDICATÓRIA**

Ao PPGE nFis (UFES),  
aos familiares, amigos, alunos e  
principalmente... Aos professores e professoras!

## EPÍGRAFE

Há escolas que são gaiolas  
e há escolas que são asas.  
Escolas que são gaiolas  
existem para que os  
pássaros desaprendam a  
arte do voo. Pássaros  
engaiolados são pássaros  
sob controle. Engaiolados,  
o seu dono pode levá-los  
para onde quiser.  
Pássaros engaiolados  
sempre têm um dono.  
Deixaram de ser pássaros.  
Porque a essência dos  
pássaros é o voo.

Escolas que são asas não  
amam pássaros  
engaiolados. O que elas  
amam são pássaros em voo.  
Existem para dar aos  
pássaros coragem para  
voar. Ensinar o voo, isso  
elas não podem fazer,  
porque o voo já nasce  
dentro dos pássaros. O voo  
não pode ser ensinado. Só  
pode ser encorajado.

**Rubem Alves**

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>133</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>134</b>
<b>PARTE I .....</b>	<b>135</b>
<b>1. CONDUTORES E ISOLANTES.....</b>	<b>136</b>
1.1 Condutores metálicos e Isolantes.....	136
1.2 Condutores eletrolíticos e condutores gasosos .....	138
1.3 Semicondutores e supercondutores .....	139
<b>2. CORRENTE ELÉTRICA .....</b>	<b>140</b>
2.1 Fluxo de elétrons livres .....	140
2.2 Sentido da corrente elétrica .....	142
2.3 Intensidade da Corrente Elétrica.....	142
2.4 Efeitos da corrente elétrica.....	142
<b>3. GERADORES DE TENSÃO .....</b>	<b>144</b>
3.1 O campo elétrico e a corrente elétrica .....	144
3.2 Diferença de Potencial .....	145
3.3 Geradores e Força Eletromotriz (fem) .....	146
<b>4. RESISTÊNCIA ELÉTRICA .....</b>	<b>148</b>
4.1 Primeira Lei de Ohm .....	150
4.2 Segunda Lei de Ohm (ou Lei de Ohm microscópica).....	151
<b>5. CIRCUITOS ELÉTRICOS .....</b>	<b>153</b>
5.1 Circuitos em série.....	153
5.2 Circuitos em paralelo.....	154
5.3 Potência Elétrica.....	154
5.4 Diagramas Esquemáticos .....	155
5.5 Associação de Resistores .....	156
<b>PARTE II.....</b>	<b>157</b>
<b>6. ATIVIDADES DE INVESTIGAÇÃO .....</b>	<b>158</b>
<b>7. PROPOSIÇÃO DAS ATIVIDADES .....</b>	<b>158</b>
7.1 Primeira atividade.....	159
7.2 Segunda atividade.....	161
7.3 Terceira atividade.....	162
7.4 Quarta Atividade.....	163
7.5 Quinta atividade.....	165
7.6 Sexta atividade .....	166
7.7 Sétima atividade .....	168
7.8 Oitava atividade.....	169
7.9 Nona atividade.....	170
7.10 Décima atividade .....	171
<b>PARTE III .....</b>	<b>173</b>
<b>8. OBJETOS DE APRENDIZAGENS.....</b>	<b>174</b>
<b>9. UTILIZAÇÃO DOS OBJETOS DE APRENDIZAGENS.....</b>	<b>174</b>
<b>10. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>179</b>

## **APRESENTAÇÃO**

Olá caro(a) professor(a)

Este guia traz os elementos de uma Unidade Investigativa de Ensino com conteúdos no domínio da Eletrodinâmica que privilegia as aprendizagens: conceitual, procedimental e atitudinal dos estudantes. Este material é destinado, principalmente, para o professor da educação básica com o objetivo de auxiliar a aplicação e o desenvolvimento de atividades de investigação em sala de aula, a utilização de recursos computacionais, de modo a favorecer a aprendizagem significativa. Trazemos ainda um material de cunho teórico de Eletrodinâmica, criado especificamente para o guia.

Boa leitura!

## INTRODUÇÃO

A Unidade Investigativa de Ensino é fruto de um trabalho desenvolvido numa Escola Pública Estadual de um trabalho de mestrado pertencente ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnFis), para levantar questões relacionadas ao ensino e aprendizagens de Física.

A Unidade está dividida em três partes:

I. Material conceitual no domínio da Eletrodinâmica – para a construção desse material foi realizada uma pesquisa profunda sobre o assunto abordado e tem por objetivo auxiliar os estudantes fornecendo suporte teórico para a realização das atividades proposta em sala de aula;

II. Atividades de cunho investigativo – testadas e utilizadas na pesquisa;

III. Objetos de aprendizagem – consistem de ferramentas educacionais: software, applets, animações, vídeos e imagens utilizados para potencializar as aprendizagens.

A prática estabelecida nesse guia vai ao encontro do PCN+ e das orientações curriculares para o Ensino Médio, promovendo a conexão de saberes e a melhoria do processo de ensino aprendizagem.

## **PARTE I**

## 1. Condutores e Isolantes

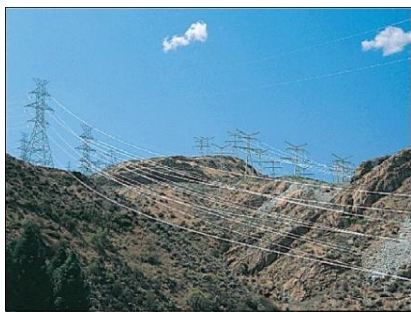


Figura 1: Rede de distribuição de energia elétrica. (Fonte: internet)



Figura 2: Condutores de diferentes espessuras. (Fonte: internet)

Normalmente a palavra “condutor” é utilizada para caracterizar os materiais que possibilitam um bom fluxo dos portadores de cargas elétricas (elétrons, íons positivos ou íons negativos), através deles, sem muita resistência. Nos materiais ditos “isolantes”, o fluxo de elétrons através deles é pobre, sendo utilizados muitas vezes para revestir os materiais condutores. A maioria dos metais são bons condutores. Um dos condutores mais comuns é o cobre que é usado praticamente em toda a rede de distribuição de energia elétrica - em linhas de energia, a carga flui mais facilmente através de centenas de quilômetros desses fios do que através dos poucos centímetros de material isolante. Por que isso acontece? Veremos a seguir.

### 1.1 Condutores metálicos<sup>15</sup> e Isolantes

Os elétrons de diferentes tipos de átomos têm diferentes graus de liberdade para se mover. Em alguns materiais, tais como os metais, os elétrons na extremidade dos átomos são tão frouxamente ligados que caoticamente deslocam-se no espaço entre os átomos devido à influência da temperatura ambiente ou até pelo calor. Os cientistas têm investigado a natureza dos metais, e nessa busca, concluíram que todos eles possuem propriedades semelhantes: todo metal é maleável, ou seja, podem ser moldados sem que se quebre; outra propriedade é o brilho ou o grau em que um metal brilhante reflete a luz (durante muito tempo apenas essas eram as propriedades conhecidas dos metais).

No século XVIII, os cientistas descobriram uma propriedade comum a todos os metais chamada de condutividade, ou capacidade de conduzir eletricidade. Cada átomo de um metal pode ser imaginado como um íon positivo<sup>16</sup> com um ou dois elétrons mais externos girando ao seu redor, não muito fortemente presos a ele. Quando temos um único íon positivo, isto é, um átomo em que falta apenas um elétron – ele cria uma energia potencial de atração com o elétron ausente. Colocando-se vários íons lado a lado, e adicionando a mesma quantidade de elétrons, produzimos um sistema eletricamente neutro, veja a Figura 03. Um elétron dentro do metal sofre ação de todos os íons e de todos os elétrons, exceto dele mesmo, contribuindo ele mesmo com uma energia potencial. Se um elétron é transferido de uma parte para a outra do metal, outros elétrons fluem ao seu redor para substituí-lo de maneira que eles tenham a

<sup>15</sup> Também chamados de condutores de primeira classe.

<sup>16</sup> Quando o átomo perde um elétron.

mesma energia potencial em qualquer parte. Isso significa que não existe virtualmente força capaz de impedir que o elétron se mova livremente no metal. Mas além do limite do metal, não há mais íons ou outros elétrons para ajudar a contrabalancear essas forças. Assim, para extrair um elétron do metal, é preciso uma força gigantesca capaz de criar um verdadeiro potencial elétrico e deixar o metal com uma carga resultante positiva.

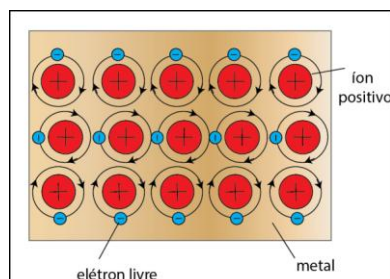


Figura 3 Representação de uma rede ordenada que pode ser a base de um metal. Os elétrons giram ao redor dos íons e trocam de posições aleatoriamente (Fonte: autor)

Como dissemos, quando dois átomos metálicos estão muito próximos, esses elétrons mais exteriores podem passar facilmente de um para o outro átomo. À medida que mais átomos vão sendo acrescentados, os elétrons podem se dispersar mais; esses elétrons móveis são conhecidos como elétrons de condução ou elétrons livres e são eles que dão aos metais algumas de suas propriedades especiais. Dessa forma, todos os metais são bons condutores elétricos.

Esta mobilidade relativa dos elétrons dentro de um material é conhecida como condutividade elétrica. A condutividade é determinada pelo tipo de átomos em um material (o número de prótons no núcleo de cada átomo, determinando a sua identidade química) e como os átomos estão ligados um com o outro. Materiais com alta mobilidade de elétrons (muitos elétrons livres) são chamados de condutores, enquanto os materiais com a mobilidade de elétrons baixa (poucos ou nenhum elétron livre) são chamados isolantes.

Em outros tipos de materiais, por exemplo, o vidro, os elétrons dos átomos têm pouca liberdade para se mover. Enquanto as forças externas, tal como o atrito pode forçar alguns destes elétrons a deixarem seus respectivos átomos e transferir-se para os átomos de outro material, essa mudança não é fácil porque seus átomos têm grande dificuldade em ceder ou receber os elétrons livres das últimas camadas eletrônicas. Em um isolante uma carga elétrica permanece fixa em uma dada posição. Nos metais elas espalham-se rapidamente porque o metal conduz eletricidade.

Deve ser entendido que nem todos os materiais condutores têm o mesmo nível de condutividade, e nem todos os isolantes são igualmente resistentes ao movimento dos elétrons. Como exemplo de condutores, citaremos: a prata, o cobre, o alumínio, os metais em geral, as soluções eletrolíticas, os gases rarefeitos (quando ionizados), o carbono, os corpos dos animais etc. Os isolantes são: o vácuo, o quartzo, a mica, o vidro, a porcelana, os plásticos em geral, a madeira, os hidrocarbonetos em geral (parafinas, óleos minerais, etc.), o enxofre, o papel, o algodão, a seda, o ar (os gases em geral quando não ionizados), a água (quando pura), etc.

A condutividade elétrica pode ser interpretada analogamente à transparência de certos materiais à luz. Materiais que facilmente permitem a passagem de luz são chamados de "transparentes", enquanto aqueles que não o fazem são chamados de "opacos". No entanto,



nem todos os materiais transparentes são capazes de permitir a passagem de luz com facilidade. O vidro da janela em geral deixa passar a luz melhor do que a maioria dos plásticos. Assim é com os condutores elétricos, alguns são melhores que outros.

A prata é o melhor condutor dos "condutores", oferecendo fácil fluxo de elétrons livres do que qualquer outro material citado. O carbono e os corpos dos animais também são condutores, mas estes são substancialmente menos condutores se compararmos a qualquer outro metal.

## 1.2 Condutores eletrolíticos<sup>17</sup> e condutores gasosos<sup>18</sup>

Até o momento, vimos que nos condutores metálicos as partículas carregadas que se movem são os elétrons. O que dizer então dos condutores eletrolíticos e gasosos? O esquema da Figura 4, mostra que existem líquidos que são bons condutores de eletricidade. Se o líquido utilizado na Figura 04 fosse à água destilada, por exemplo, certamente a lâmpada não acenderia. Seria necessário dissolver uma pequena quantidade de um eletrólito<sup>19</sup> (algumas gotas de ácido sulfúrico, ou até mesmo de cloreto de sódio – sal de cozinha) para a solução se tornasse condutora de eletricidade.

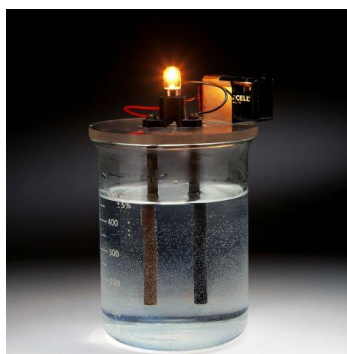


Figura4: Representação da condutividade do cloreto de potássio dissolvido em água. Existem movimentos simultâneos de íons positivos e negativos na solução (Fonte: internet)

Explicamos o fenômeno, admitindo-se que, pela dissolução em água, as moléculas do eletrólito se dividem em fragmentos eletricamente carregados chamados íons. Os íons positivos são encaminhados para o catodo (polo negativo da pilha). Lá chegando, ganham elétrons e se neutralizam. Simultaneamente, os íons negativos são encaminhados para o anodo (polo positivo da pilha), que ao chegarem, perdem elétrons e se neutralizam. Ou seja, existe um movimento simultâneo de íons positivos e de íons negativos em ambos os lados na solução eletrolítica e isso a caracteriza como condutora de eletricidade.

Quimicamente falando, diríamos que durante uma eletrólise sempre se processa uma redução de oxi-redução. Os produtos de decomposição de um eletrólito no decorrer de uma eletrólise aparecem nas vizinhanças dos eletrodos<sup>20</sup>. No caso mais simples, esses produtos são os próprios elementos que constituem os eletrólitos. Por exemplo, pela eletrólise de uma solução de ácido clorídrico (HCl), desprende-se hidrogênio no polo negativo e cloro no positivo. Pela

<sup>17</sup> Condutores líquidos, também chamados de condutores de segunda classe.

<sup>18</sup> Condutores de terceira classe.

<sup>19</sup> Substância dissolvida na solução eletrolítica.

<sup>20</sup> Qualquer condutor parcialmente mergulhado em uma solução eletrolítica.

eletrólise de uma solução de cloreto de sódio (NaCl), deposita-se sódio no polo negativo e cloro no polo positivo.

É importante saber que os metais fundidos se comportam como qualquer condutor metálico sólido (o mercúrio é um exemplo importante). Além deles, são bons condutores: os sais, os hidróxidos fundidos (por exemplo, o hidróxido de sódio utilizado para desentupir encanamentos) e as soluções de ácidos (ácido clorídrico e outros).

Já nos condutores gasosos, todo gás ionizado positivamente conduz eletricidade, tendo como portadores de cargas elétricas íons positivos e elétrons livres. Isso pode ser encontrado, por exemplo, na formação dos raios - as moléculas de ar são ionizadas temporariamente deixando um gás de íons moleculares positivos e elétrons negativos chamado plasma. Muito rapidamente a força elétrica entre íons e elétrons faz com que se recombinem em matéria neutra, deixando escapar o excesso de energia em forma de luz.

### 1.3 Semicondutores e supercondutores

Deve também ser entendido que certos materiais, em condições diferentes, experimentam mudanças nas suas propriedades elétricas. O vidro, por exemplo, é um isolante muito bom a temperatura ambiente, mas se torna um condutor quando aquecido a uma temperatura muito elevada. Gases como o ar, normalmente, também se tornam condutores se aquecido a temperaturas muito altas. A maioria dos metais se tornam condutores mais pobres quando aquecidos, e melhores condutores, quando resfriados. Muitos materiais condutores tornam-se perfeitamente condutores (isso é chamado de supercondutividade) a temperaturas extremamente baixas. Ou seja, o mais correto seria dizer que sob um conjunto de condições um corpo comporta-se como condutor, enquanto que sob outro conjunto de condições ele passa a se comportar como um isolante.

Além dos materiais condutores, isolante e supercondutores, há também uma importante classe de materiais com propriedades elétricas únicas conhecidas como semicondutores. Estes materiais possuem propriedades físicas em algum lugar entre um condutor e um isolante. Eles conduzem eletricidade moderadamente bem, porém, não bem o suficiente para ser chamado de condutor (como os fios de cobre) mas não mal o suficiente para ser chamado de um isolante (tal como um pedaço de vidro). Por isso, a razão do seu nome: semicondutores. Os exemplos incluem o germânio e o silício.

Devido às suas propriedades únicas, os semicondutores realizam funções especiais que os levaram a se tornar os blocos básicos da eletrônica moderna. Transistores, inventado em 1947, foram as primeiras aplicações práticas de semicondutores. Desde então, toda grande invenção eletrônica tem sido possível pelo transistor. Em 1958, um enorme avanço ocorreu com a invenção do circuito integrado ou microchip, que consiste de milhares de transistores interconectado. O microchip levou a inovação do transistor para um novo e excitante nível e deu origem a Era da Informação.

## 2. Corrente elétrica



A cidade na foto, conhecida como cidade luz, é Paris. Conseguiria pensar nessa imagem se não houvesse Eletricidade? Agora, imagine ficar sem computador, sem celular e que não houvesse luz nas noites escuras – o mundo seria muito diferente. E outra, os aparelhos domésticos, tais como: ventilador, chuveiro elétrico, geladeira, máquina de lavar, televisão, e tantos outros não existiriam. Dependemos muito da Eletricidade. Através de todos esses eletrodomésticos passa uma corrente elétrica capaz de acender, aquecer, produzir som e imagem como se fosse mágica. Mas tudo isso tem uma explicação, e, veremos a seguir.

### 2.1 Fluxo de elétrons livres

O condutor metálico quando não está conectado a uma fonte de energia, o movimento normal dos “elétrons livres” nesse condutor é aleatório, sem nenhuma direção específica ou velocidade, os elétrons podem ser influenciados a se mover de forma ordenada através de um material condutor. Este movimento ordenado de elétrons livres é o que chamamos de corrente elétrica. A expressão corrente elétrica está relacionada à antiga concepção de que a eletricidade seria um fluido e, como tal, poderia ser canalizada por condutores, encanamentos hipotéticos desse fluido elétrico. Segundo essa concepção assim como a água flui através de um tubo vazio, os elétrons livres seriam capazes de se moverem dentro dos espaços vazios entre os átomos de um condutor metálico. Esse condutor pode parecer “sólido” a olho nu, mas microscopicamente qualquer material composto de átomos possui espaços vazios. A analogia do escoamento de um líquido é então conveniente, pois, o movimento dos elétrons através de um condutor é muitas vezes referido como “fluxo”. Vale lembrar que nos condutores gasosos e eletrolíticos a corrente elétrica se caracteriza pelo movimento organizado de seus portadores de cargas elétricas (elétrons, íons positivos ou íons negativos).

Uma observação notável pode ser feita aqui. À medida que cada elétron livre se move uniformemente através de um condutor metálico, ele empurra o elétron da frente, de tal forma que todos os elétrons se movem como um grupo. O fluxo de elétrons através do condutor é virtualmente instantâneo – desde uma extremidade à outra do condutor, mesmo que o movimento de cada um dos elétrons seja lento. Uma analogia aproximada é a de um tubo cheio de ponta a ponta com bolas de gude.

A Figura 5 representa um tubo cheio de bolinhas, semelhante a um condutor metálico cheio de elétrons livres prontos para serem movidos por uma influência externa. Se uma única bolinha for subitamente

inserida neste tubo pelo lado esquerdo, outra bolinha começa imediatamente a tentar sair do lado direito do tubo. Ainda que cada bolinha apenas percorra uma distância curta, a transferência do movimento através do tubo é virtualmente instantânea a partir da extremidade esquerda para a extremidade direita, não importando quão longo é o tubo. Como na eletricidade, o efeito global de uma extremidade de um condutor para o outro acontece na velocidade da luz num ritmo de 300.000 quilômetros por segundo. Cada elétron individual, porém, viaja através do condutor em um ritmo muito mais lento.

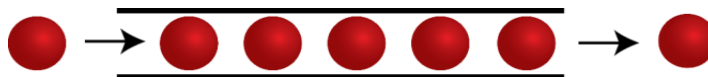


Figura 5: Bolinhas de gude num tubo. (Fonte: autor).

Se quisermos que os elétrons fluam numa certa direção em um determinado lugar, devemos fornecer o caminho adequado para eles se deslocarem, como um encanador que instala um sistema de tubulação para que a água flua em uma direção específica. Para facilitar este processo, os fios são feitos de metais altamente condutores, como o cobre ou alumínio em uma grande variedade de tamanhos. Usando a analogia das bolinhas no tubo, essas só poderão mover-se de um lado para o outro, se ambos os lados estiverem abertos. Se o lado direito estiver fechado, essas se empilhariam no interior do tubo e o fluxo não ocorreria. O mesmo vale para a corrente elétrica: o fluxo requer um caminho ininterrupto para permitir a passagem. A diferença entre o fluxo hidráulico e o fluxo elétrico é que o fio elétrico (qualquer que seja seu tamanho) tem um número enorme de elétrons livres que se movem aleatoriamente em todas as direções quando não está ligado a nenhuma fonte de energia elétrica, diferente do cano hidráulico que não apresentada em sua constituição o elemento fluente.

Uma vez que o fio é feito de um material condutor, como o cobre, seus átomos possuem elétrons livres que podem facilmente mover-se através dele. Como veremos em outro momento, para manter o fluxo de elétrons livres ordenado no fio é necessário que o mesmo esteja conectado a uma fonte de energia (como pilha, bateria, tomada).

A Figura 6 mostra o esquema de um fio sendo atravessado por uma corrente elétrica entre dois pontos A e B. Os elétrons partem da esquerda para a direita de forma ordenada através do caminho ininterrupto caracterizando uma corrente elétrica no condutor.

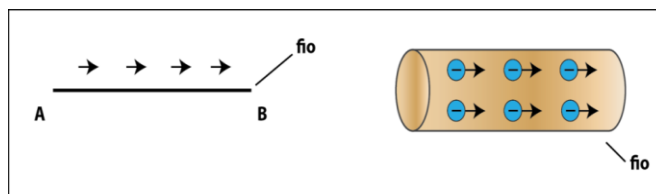


Figura 6: (a) Representação do fluxo de elétrons num fio condutor; (b) Os elétrons movem-se de forma ordenada caracterizando a corrente elétrica. (Fonte:autor)

Na Figura 7 esse caminho é interrompido. Como o ar é um material isolante e uma abertura separa as duas partes do fio, os elétrons não podem fluir de A para B. Nesse esquema os elétrons se movem de forma desordenada e não haverá fluxo de elétrons livres, logo, não se caracteriza corrente elétrica.

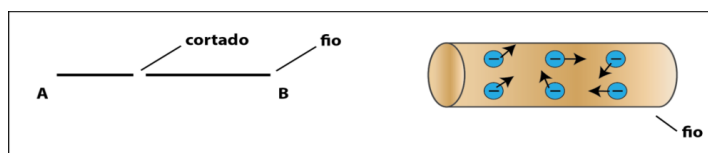


Figura 7: (a) Representação do fluxo de elétrons num fio condutor; (b) Os elétrons movem-se de forma desordenada. Não há corrente elétrica. (Fonte: autor)

Da mesma forma que o cano sofre transformações com fluxo de água no seu interior – eventualmente são corroídos devido ao fluxo prolongado – a agitação dos elétrons em um condutor percorrido por corrente

elétrica podem gerar calor devido à interação com a estrutura cristalina do condutor, e isso discutiremos em outro momento.

## 2.2 Sentido da corrente elétrica

Em virtude da existência de duas espécies de cargas elétricas, foi necessário convencionar um sentido para a corrente elétrica. A convenção, estabelecida antes de se ter conhecimento da estrutura atômica da matéria, é a seguinte: o sentido convencional de uma corrente elétrica é o do deslocamento das cargas positivas. Você deve estar achando que se deveria mudar o sentido convencional da corrente elétrica para que coincidissem com o do deslocamento das cargas negativas, afinal, através dos condutores metálicos, só os elétrons livres se deslocam. Você não deve esquecer, porém, que no caso dos gases e das soluções eletrolíticas, há um deslocamento simultâneo de cargas positivas e negativas, em sentidos opostos. Deve ficar claro que ao falarmos em sentido de uma corrente elétrica, estaremos nos referindo ao sentido convencional.

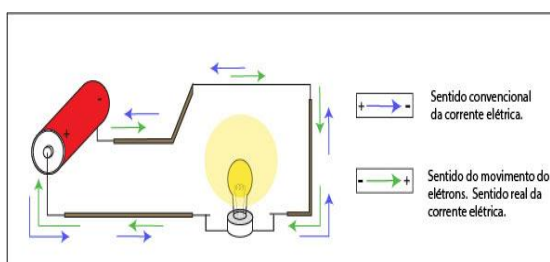


Figura 8: Sentido real (cor verde) – os elétrons movem-se a partir do polo negativo da bateria no sentido do polo positivo. Sentido convencional (cor azul), cargas positivas movem-se a partir do polo positivo da bateria no sentido do polo negativo. (Fonte: autor).

## 2.3 Intensidade da Corrente Elétrica

A corrente elétrica pode ser quantificada. Para facilitar essa medida, acrescentamos uma seção transversal de área  $A$  num condutor metálico representado na Figura 9.

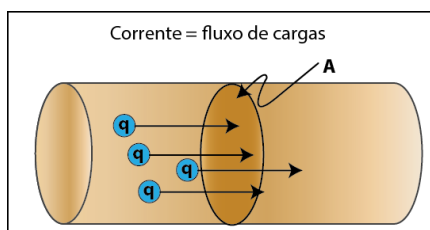


Figura 9: Cargas elétricas atravessando uma seção transversal de área  $A$  do condutor. (Fonte: autor).

A intensidade de corrente elétrica em um condutor é a razão entre a carga elétrica que atravessa uma seção transversal (qualquer do condutor) durante um certo intervalo de tempo. Se  $t$  é o intervalo de tempo durante o qual uma determinada seção do condutor é atravessada por uma carga elétrica  $Q$ , a intensidade da corrente  $i$ , suposta constante, será dada por:

$$i = Q / \Delta t$$

Sendo a quantidade de carga medida em Coulomb (C) e o intervalo de tempo em segundo (s), tem-se a unidade de medida da corrente elétrica é C/s. No SI, convencionou-se que o valor unitário dessa grandeza seria denominado ampère (A) – ou seja,  $1 \text{ C/s} = 1 \text{ A}$ , em homenagem a André Ampère.

## 2.4 Efeitos da corrente elétrica

Quais são os efeitos que caracterizam a existência da corrente elétrica? A corrente não pode ser observada diretamente, tal como você vê um fluxo água numa mangueira, ou uma fila de pessoas numa entrada de

cinema. No entanto, ela pode ser percebida pelos efeitos que produz: acender uma lâmpada, funcionar uma televisão, ligar o celular. A grande utilidade prática da eletricidade deve-se, certamente à variedade de efeitos produzidos pela corrente elétrica. Vejamos alguns desses:

(a) Efeitos térmicos: um condutor se aquece ao ser percorrido por uma corrente elétrica – presentes em aparelhos destinados a produzir luz e calor, tais como chuveiros elétricos, secadores de cabelo, torradeiras elétricas, ferro de solda e até na própria lâmpada incandescente. Este efeito, também conhecido como efeito Joule, é o mais simples de ser compreendido. Os elétrons acelerados colidem com os átomos da rede atômica, transferindo-lhes energia. Como consequência, aumenta a energia de vibração desses átomos, o que implica, macroscopicamente, um aumento de temperatura.



Figura 10: Chapinhas de alisar cabelo, ferro de passar roupas e chuveiro elétrico são exemplos de aparelhos que utilizam o efeito Joule para funcionar.(fonte: internet).

(b) Efeitos luminosos: um gás rarefeito emite luz quando atravessado por uma corrente elétrica – presentes nos anúncios luminosos (tubos de neon), lâmpadas fluorescentes que estão presentes nos ambientes como sala de aula, empresas ou até mesmo a própria residência.



Figura 11: A passagem da corrente elétrica através de um gás rarefeito faz com que ele emita luz. Os anúncios luminosos são aplicações desse efeito. (Fonte: internet).

(c) Efeitos químicos: corresponde a certas reações químicas que ocorrem quando a corrente elétrica atravessa as soluções eletrolíticas. É muito aplicado, por exemplo, no recobrimento de metais (niquelação, cromação, etc). Uma solução eletrolítica sofre o fenômeno de eletrólise ao ser percorrida por uma corrente elétrica. A exploração desse efeito é utilizada nas pilhas.

(d) Efeitos fisiológicos: quando uma corrente elétrica atravessa um organismo vivo, além dos efeitos térmicos e químicos, ocorrem também efeitos sobre nervos e músculos. Correntes de 10 mA a 15 mA podem provocar câimbra muscular. Correntes de até 50 mA podem paralisar a musculatura do aparelho respiratório. Correntes de 50 mA a 100 mA, se agirem em uma pessoa por mais de 0,2s, levam à morte.

### 3. Geradores de tensão



As imagens acima estão presentes no nosso cotidiano. Baterias, células fotovoltaicas, alternadores, dentre outros. Esses geradores transformam diferentes tipos de energia: mecânica, química e luminosa em energia elétrica. Você saberia dizer, qual é a função comum de todos os itens presentes nas imagens acima? Ao longo do texto responderemos a essa pergunta e veremos que os geradores produzem um campo elétrico e mantém uma diferença de potencial entre dois pontos do circuito fornecendo energia elétrica aos elétrons do condutor. Discutiremos ainda suas aplicações bem como suas representações nos circuitos elétricos.

#### 3.1 O campo elétrico e a corrente elétrica

Para responder a pergunta feita anteriormente – o que faz os elétrons livres moverem-se de forma ordenada? A resposta não se limita a necessidade de um caminho contínuo (circuito), precisamos também de um meio para “empurrar” esses elétrons no interior do condutor. Assim como a bola de gude em um tubo ou a água numa tubulação é necessário algum tipo de “força” para influenciar esse fluxo. Na Eletrodinâmica essa força é a mesma apresentada na Eletrostática: a força elétrica resultante do campo elétrico produzido por um desequilíbrio de carga elétrica.

No contexto da Eletrostática, sabemos que na eletrização por atrito, por exemplo, quando friccionamos um pedaço de lã no tubo de vidro descobrimos que haverá um excedente de elétrons na lã (carga negativa) e um déficit de elétrons no tubo de vidro (carga positiva) criando um desequilíbrio de cargas entre eles. Esse desequilíbrio se manifesta como uma força de atração entre esses dois materiais. Se um fio condutor for colocado entre eles, elétrons irão fluir em direção ao tubo de vidro de modo a restabelecerem o equilíbrio (os corpos ficam neutros). Veja a Figura 12.

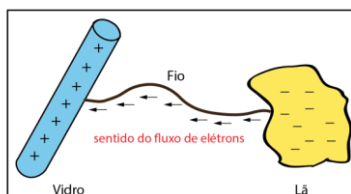


Figura 12: Elétrons fluem devido à força de atração gerada pelo campo elétrico entre a lã e o tubo de vidro no fio condutor. (Fonte: autor).

O que faz um elétron, lá no meio de um condutor, mover-se mais para um lado do que para o outro? Na verdade, como vimos, os elétrons movimentam-se sempre, contínua e desordenadamente, em todas as



direções. O que caracteriza a corrente elétrica é que esse movimento contínuo e desordenado passa a ter um sentido preferencial, num lento deslocamento.

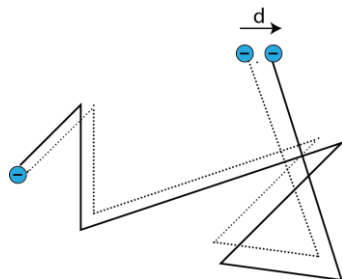


Figura 13: Aqui estão representados esquematicamente os movimentos de um elétron num condutor. A linha tracejada representa esse movimento na ausência de um campo elétrico  $E$ . A linha sólida representa esse movimento quando o campo elétrico fosse aplicado. O elétron acaba sendo arrastado para o lado direito com uma velocidade de deriva muito pequena. A seta indica o deslocamento real que dá origem à corrente elétrica. (Fonte: autor).

É algo parecido a uma escola de samba desfilando na avenida: os elétrons são frenéticos passistas. Embora se movimentem, ou “dancem”, executando seus passos com velocidades fantásticas, como vimos, a velocidade média do conjunto dos elétrons ao longo do condutor é muito pequena. Também aqui há uma semelhança com o que ocorre com uma escola de samba. Em seu conjunto, ela sempre se desloca a uma velocidade muito menor que a de qualquer de seus componentes enquanto executam suas coreografias.

Você pode estar pensando: como é que a corrente elétrica, fluindo tão devagar, acende a lâmpada do quarto instantaneamente, quando ligamos o interruptor? É aí que aparece o papel do campo elétrico. O que faz um elétron se mover predominantemente num determinado sentido, e não em outro, é o aparecimento de um campo elétrico no lugar em que esse elétron se encontra.

Como foi apresentado na Figura 12, os elétrons se movem de forma ordenada da lâ para direção ao tubo de vidro porque existe um campo elétrico no interior do fio condutor. As linhas do campo elétrico entre o vidro e a lâ são direcionadas ao longo do fio condutor e os elétrons continuam seus movimentos aleatórios, enquanto simultaneamente vão sendo empurrados por esse campo. Os elétrons de condução, ou os elétrons livres, são acelerados pelo campo numa direção paralela às linhas de campo. Antes que adquiram uma rapidez apreciável, os elétrons acabam colidindo com um dos íons metálicos “ancorados”, transferindo parte de suas energias cinéticas para eles. Dependendo da quantidade de colisões no processo, os fios se aquecem. Embora o campo elétrico, causa desse movimento, se propague a uma velocidade próxima da velocidade da luz, são tantos os choques dessa multidão de elétrons com a estrutura atômica do condutor que o seu movimento torna-se muito lento. Sobretudo, com esses choques, a energia elétrica desses elétrons se transforma, em sua maior parte, em calor. Essa transformação, conhecida como Efeito Joule (em homenagem a James P. Joule, cientista inglês que determinou a relação entre calor e trabalho), é responsável pelas primeiras aplicações práticas da Eletricidade.

### 3.2 Diferença de Potencial

Uma carga elétrica só se movimenta de um ponto para outro ou de uma região do espaço para outro se, nessa região, houver um campo elétrico ou se entre dois pontos houver uma diferença de potencial. A carga elétrica formada entre dois materiais após serem atritados armazenam certa quantidade de energia potencial. Essa energia é semelhante àquela de uma bolinha numa certa altura em relação ao solo. A influência da gravidade sobre a bolinha cria uma força<sup>21</sup> que tenta deslocá-la para um nível inferior – Figura 14. Se soltarmos a bolinha, ela descenderá até atingir o solo. Para que a bolinha retorne para a posição original, é necessário que se gaste certa quantidade de energia.

<sup>21</sup> Essa é a força gravitacional



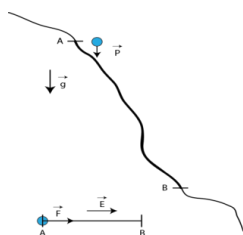


Figura 14: A carga  $q$  vai de A para B devido ao campo elétrico  $E$ , ou devido à presença de potencial elétrico entre A e B. Da mesma forma, a pedra rola de A para B devido ao campo gravitacional  $g$  ou devido à diferença de potencial gravitacional entre A e B. (Fonte: autor).

Elétrons não são tão diferentes. O desequilíbrio de cargas após o atrito entre o vidro e a lã, cria a condição para a existência de uma força de interação (força atrativa), fazendo com que os elétrons reestabeleçam suas posições anteriores (o equilíbrio dentro de seus respectivos átomos). A força de atração dos elétrons para suas posições originais ao redor do núcleo positivo de seus átomos é semelhante à força da gravidade sobre a bolinha tentando atraí-la a um nível inferior. O desequilíbrio de cargas, após o atrito do vidro com a lã pode ser comparado à ação de “levar” uma bolinha de um nível A até um nível B conforme a Figura 14. Os elétrons posicionados na condição estática (como a bolinha no ponto A) armazenam energia potencial porque possuem o “potencial” de lançamento que não foi plenamente concretizado. Por exemplo, quando você raspa o solado de borracha do sapato no tapete, em um dia seco, você cria um desequilíbrio de carga entre você e o tapete. Desse modo, seus pés armazenam uma energia potencial que não é percebida (energia potencial estática), a menos que você coloca sua mão contra uma maçaneta. Assim, a energia armazenada será liberada na forma de um fluxo repentino de elétrons através de sua mão como um choque elétrico.

Essa energia potencial, armazenada sob a forma de desequilíbrio de carga elétrica, capaz de provocar o fluxo de elétrons através de um condutor, pode ser expressa com o termo tensão<sup>22</sup> (que é sinônimo de diferença de potencial ou voltagem). No contexto das fontes de energia elétrica, a tensão é a quantidade de energia potencial disponível (trabalho a ser feito) por unidade de carga, para mover elétrons através de um condutor. Ou seja, a tensão representa a energia potencial capaz de mover o elétron de um nível a outro. Desse modo, a tensão sempre será referenciada entre dois pontos.

Considerando ainda a Figura 14, é fácil reconhecer que se a bolinha fosse arremessada a partir do ponto médio do caminho AB, sua energia potencial seria relativamente inferior à energia potencial no ponto A. O princípio pode ser compreendido intuitivamente em deixar cair uma pedra: o que resulta em impacto mais violento, uma pedra cair de uma altura de 1m ou a mesma pedra cair de uma altura de 1 km, ambos em relação ao solo? Obviamente que a pedra que caiu de uma altura maior liberou mais energia (teve um impacto mais violento). A quantidade de energia liberada numa queda depende das distâncias de lançamentos. Dessa mesma forma, a energia potencial disponível para mover os elétrons de um ponto a outro é relativa em relação a esses dois pontos. Portanto, a tensão é sempre como sendo um valor entre dois pontos. Curiosamente, a analogia de uma massa potencialmente cair de uma altura para outra é chamado de “queda de potencial” o que caracteriza um modelo para expressar a tensão entre dois pontos.

### 3.3 Geradores e Força Eletromotriz (fem)

Não é necessário atritar sempre dois corpos para se gerar tensão. Reações químicas, energia radiante e a influência do magnetismo em condutores são algumas maneiras em que a tensão pode ser produzida. Como foi apresentado no início dessa seção, exemplos respectivos dessas três fontes de tensão são: baterias, células solares e alternadores. O mais importante aqui é entender como fontes de tensão podem ser aplicadas para criar fluxo de elétrons em um circuito.

Vamos construir um circuito passo a passo. Qualquer fonte de tensão, incluindo as baterias, tem dois pontos de contatos elétricos. As linhas horizontais de comprimentos variáveis indicam que se trata de uma bateria, e também indicam que a direção da tensão da bateria tem a tendência de “empurrar” os elétrons através de um circuito. As linhas horizontais embora separadas, na vida real, elas representam placas metálicas

<sup>22</sup> A unidade de tensão é o volt, e é geralmente representada pela letra V.

mergulhadas em líquidos ou materiais semissólidos que geram tensão capaz de mover os elétrons de uma placa à outra. O lado negativo de uma bateria indica o sentido em que elétrons são empurrados para fora. Da mesma forma, o lado positivo é o que tenta atrair os elétrons. Haverá tensão entre os dois pontos, mas não haverá qualquer fluxo de elétrons porque não há nenhum caminho contínuo para os elétrons se moverem.

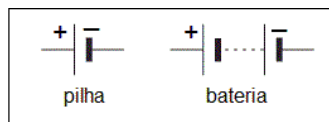


Figura 15: Fontes de tensão: o sinal (+) será sempre o de maior traço e o sinal (–) será sempre o de menor traço. (Fonte: autor).

Podemos então acender uma lâmpada ao fornecer uma trajetória para o fluxo de elétrons livres ligando um fio de cobre de uma extremidade da pilha à outra. Formando assim um circuito, iniciamos um fluxo de elétrons no sentido horário conforme a Figura 16. No exterior da pilha, as cargas que constituem a corrente elétrica, como sabemos, deslocam-se naturalmente do polo positivo (potencial maior) para o polo negativo (potencial menor). Entretanto, ao chegarem em B, para completarem o circuito, estas cargas devem ser transportadas no interior da pilha de B para A. Esse deslocamento de carga não se faz naturalmente, pois o potencial de B é menor que o de A. O deslocamento de B para A ocorre porque, no interior da pilha, devido a reações químicas, as cargas são forçadas a se deslocar de B para A, completando o circuito e voltando a circular de A para B, no exterior da pilha. Em outras palavras, a pilha é um dispositivo que, consumindo a energia química, realiza trabalho sobre as cargas, entregando a elas uma certa quantidade de energia (energia elétrica) ao elevar o potencial dessas cargas no deslocamento do polo negativo para o polo positivo.

O funcionamento da pilha pode ser comparado a ação de levar uma bolinha de B para A (Figura 14). A bolinha ao ser deslocada de uma posição A (maior energia potencial) para uma posição B (menor energia potencial) pode realizar algum trabalho ao se chocar-se com as pedras durante a queda. Isso equivale, no caso do circuito Figura 16, ao deslocamento da corrente de A para B, acendendo a lâmpada. Para que a bolinha retorne a posição anterior, de B para A, é necessário que alguém o faça (uma pessoa, ou uma máquina). A ação de levar a bolinha para a posição original desempenha um papel semelhante ao da pilha, pois realiza um trabalho sobre a bolinha no deslocamento de B para A.

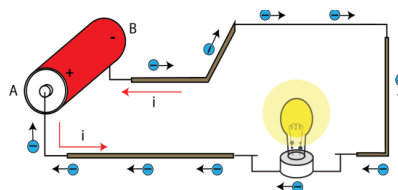


Figura 16: fluxo de elétrons livres num circuito com uma pilha. (Fonte: autor).

Os geradores são dispositivos elétricos que, como a pilha, são capazes de realizar um trabalho sobre as cargas elétricas que passam através deles, aumentando o potencial dessas cargas. Tais dispositivos são chamados de geradores de correntes ou geradores de força eletromotriz (gerador f.e.m). Do mesmo modo, um dínamo, uma termopilha, etc, são geradores de f.e.m, pois, utilizando outras formas de energia (mecânica, térmica, luminosa, etc.), realizam trabalho sobre cargas, aumentando sua energia elétrica e sendo, portanto, capazes de gerar uma corrente elétrica.

A razão entre o trabalho ( $\tau$ ) que a pilha realiza sobre a carga, elevando o valor de sua energia potencial elétrica – e a quantidade de carga ( $\Delta q$ ) que passa por uma seção transversal do condutor sendo transportada de B para A é denominada força eletromotriz representada por  $\epsilon$ . Por meio dessa relação, vemos facilmente que unidade da f.e.m é o  $1J/C = 1V = 1 \text{ volt}$ . A unidade da f.e.m é a mesma usada para medida de diferença de potencial. Entretanto, os conceitos de voltagem e f.e.m são diferentes, embora, em certas situações seus valores possam ser iguais.

#### 4. Resistência elétrica

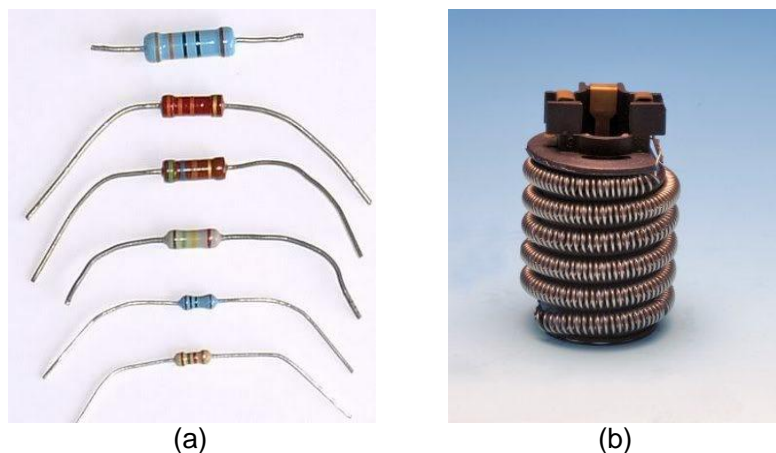


Figura 17: (a) os resistores estão presentes em quase todas as placas de circuitos – suas cores determinam a magnitude de suas resistências em ohms ( $\Omega$ ). (b) resistência de um chuveiro elétrico - a água se aquece ao passar pelos terminais do resistor que está a alta temperatura devido a passagem da corrente elétrica (efeito Joule) (Fonte: internet).

O circuito da Figura 18 (a) não é muito prático. Na verdade, sua construção pode ser perigosa (ligar diretamente os polos de uma fonte de tensão em conjunto com um único pedaço de fio). O perigo de tal ligação é devido à grande intensidade de corrente elétrica, tal como um curto-circuito, liberando uma grande quantidade de energia, geralmente sob a forma de calor. Os circuitos elétricos são construídos de modo a fazer um uso prático da energia liberada.

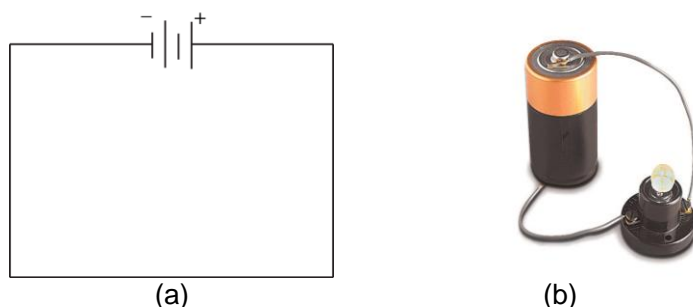


Figura 18: (a) Esquema de um circuito não muito prático. Esse tipo de ligação libera uma grande quantidade de energia que não é útil. (b) quando a corrente elétrica atravessa a lâmpada libera-se energia em forma de luz e de calor (Fonte: internet).

O uso prático e popular da corrente elétrica é sua aplicação no sistema de iluminação. Inventores como Thomas Edison descobriu maneiras de manipular correntes elétricas para acender lâmpadas nas casas e levá-las a lugares distantes através de fios. Essa lâmpada, hoje em dia, em sua forma mais simples, consiste de um filamento (muito fino) feito de um material de alta resistência ao movimento dos portadores de cargas, inserido em um bulbo de vidro transparente que brilha ao ser atravessado por uma corrente elétrica sob a forma de luz e calor. As lâmpadas possuem dois pontos de conexões, um para a entrada de elétrons e o outro para a saída desses. Conectado a uma pilha, um circuito real com lâmpada está representado na Figura 18(b).

Os elétrons ao atravessarem o filamento da lâmpada encontram maior oposição ao movimento do que normalmente encontrariam se atravessassem um fio de espessura maior. Essa oposição à corrente elétrica, como veremos ainda nessa seção, depende do tipo de material, do comprimento e de sua área de seção transversal e, ainda, de sua temperatura. Ela é tecnicamente conhecida como resistência elétrica. Essa resistência serve para limitar a quantidade de corrente através do circuito. Qual seria então a natureza da resistência elétrica? Como foi dito em seções anteriores, no interior dos metais, os elétrons se movimentam em todas as direções. Eles se movimentam através do metal como se ele fosse uma molécula gigante. Esse tipo de fluxo não alcança qualquer resistência, nem cria um fluxo global de um lado para o outro (fluxo

ordenado). O condutor se encontra num estado de equilíbrio eletrostático porque não existe campo elétrico em seu interior e nem diferença de potencial entre as suas extremidades. Entretanto, se uma bateria faz um campo elétrico fluir, o equilíbrio é destruído, e um campo elétrico é criado dentro do condutor.

Há cerca de cem anos atrás, uma ideia brilhante surgiu dessa possibilidade de transformar energia elétrica em calor. Se um resistor se torna suficientemente quente ele ficará incandescente. Thomas Edison encontrou os materiais perfeitos para produzir uma incandescência luminosa. Dentro de um metal cristalino (se é que encontremos uma amostra), os elétrons livres acelerariam continuamente como uma moeda caindo no vácuo. Mas no mundo real os cristais não são perfeitos. Eles possuem defeitos e impurezas e seus átomos vibram devido à energia térmica. Agora, os elétrons acelerados pela ação do campo elétrico colidem com essas imperfeições se comportando como uma bola num jogo eletrônico. Todas essas colisões, todas essas paradas e reinícios produzem a resistência que impedem que o fluxo de elétrons cresça indefinidamente. Assim, os elétrons se movimentam com uma velocidade média constante, produzindo uma corrente constante, sob a ação de uma força constante. Quando os elétrons colidem com as imperfeições, eles fazem com que os átomos produzam vibrações maiores, desse modo, a energia elétrica dos elétrons acelerados transforma-se em calor.

É claro que nem todo circuito produz uma incandescência, mas todos produzem calor (pode ser desejado ou não). É comum os aparelhos eletrônicos aquecerem quando ligados por algum período. Nos computadores, por exemplo, são utilizados ventiladores para eliminar o calor indesejado, pois os supercomputadores produzem tanto calor que é necessário um sistema líquido de resfriamento para manter a temperatura baixa. Quer o calor seja o objetivo ou o subproduto indesejado é preciso energia para produzi-lo.

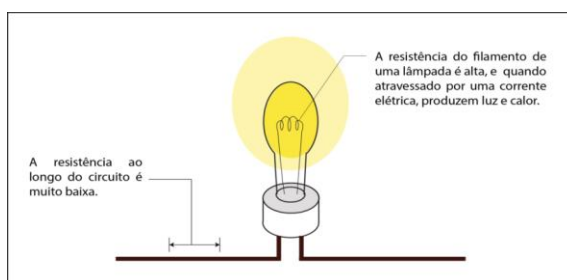


Figura 1914: Quando elétrons se movem através do filamento da lâmpada – este que possui uma resistência de oposição ao movimento dos elétrons livres – gera-se atrito. Assim como o atrito mecânico, o atrito produzido pelos elétrons se manifesta sob a forma de calor (Fonte: autor).

Os resistores são elementos de circuito que transformam energia elétrica, convertendo-a em calor. É também comumente utilizado para reduzir a tensão em um circuito elétrico. A conversão de energia elétrica em energia térmica é chamada de Efeito Joule. Corpos diferentes podem oferecer diferentes resistências ao movimento dos portadores de carga elétrica. Considerando fios condutores de materiais diferentes, mas de mesmas dimensões e na mesma temperatura, será melhor condutor aquele que oferecer menor resistência.

Nas redes de distribuição de energia elétrica, onde, evidentemente o Efeito Joule é indesejável, os fios são usualmente de cobre ou de alumínio, dois bons condutores. Porém, existem dispositivos – tais como: ferro de passar, chuveiro elétrico, dentre outros – construídos com a finalidade de converter energia elétrica em energia térmica, ou seja, de fazer o uso do Efeito Joule. Num circuito elétrico, um resistor é representado pelos símbolos da Figura 20 – eles geralmente são construídos com fios de nicromo, fios de tungstênio ou película de grafite depositada sobre um material isolante.

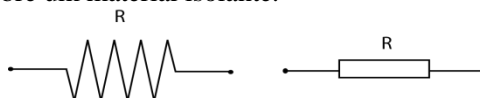


Figura 20: Símbolos de resistores.

#### 4.1 Primeira Lei de Ohm

Consideremos a seguinte experiência. Um pedaço de fio condutor, de cobre, por exemplo, é submetido a uma diferença de potencial de valor crescente e conhecido. Mantendo-se o fio a uma temperatura constante e medindo-se a intensidade da corrente elétrica, verifica-se que esta é tanto maior quanto maior for a diferença de potencial (V) entre suas extremidades.

Esse resultado é previsível, uma vez que quanto maior é o V, maior será o campo elétrico gerado. Consequentemente, os elétrons tendem a uma velocidade limite maior. Verifica-se assim, que:

$$\frac{V_1}{i_1} = \frac{V_2}{i_2} = \frac{V_3}{i_3} = \dots = \frac{V_n}{i_n} = \text{Constante (1)}$$

Repetindo-se essa experiência com um fio de outro metal – tungstênio, por exemplo – de mesmas dimensões que o fio de cobre, mantendo-se a mesma temperatura e impondo-se as mesmas tensões V, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, etc. Verificamos que são geradas i<sub>1</sub>, i<sub>2</sub>, i<sub>3</sub> menores em relação ao cobre. Mesmo assim continua válida a expressão (1). Observamos que se no tungstênio as correntes são menores para as mesmas tensões, a constante obtida para esse fio é maior. Essa constante é a resistência elétrica do material. Esse nome é sugestivo, pois, quanto maior é a resistência elétrica, menor será a corrente produzida pela mesma diferença de potencial.

Os condutores para os quais vale a proporcionalidade entre U e i são chamados de condutores ôhmicos, pois obedecem a Primeira Lei de Ohm, fruto do trabalho do físico alemão Georg Simon Ohm. Essa lei é expressa da seguinte forma: num condutor ôhmico mantido a temperatura constante, a intensidade da corrente elétrica é proporcional à diferença de potencial aplicada entre seus terminais:

$$\frac{V}{i} = R \rightarrow V = Ri$$

(A unidade da resistência elétrica é o ohm, símbolo: Ω)

Quando relacionamos a tensão aplicada entre os terminais de um resistor com a intensidade da corrente que circula o circuito, a curva característica do resistor é uma reta inclinada que passa pela origem dos eixos, supondo constante sua temperatura para que R também seja constante (Figura 21).

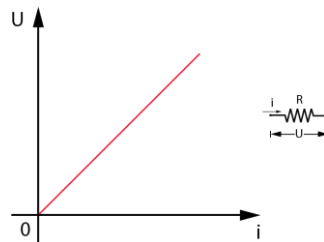


Figura 21: curva característica de resistor ôhmico. (Fonte: autor).

No caso dos condutores não ôhmicos, o quociente V/i já não será mais uma constante, mesmo que a temperatura o seja. Assim, para cada par de valores de tensão e corrente, teremos uma resistência elétrica diferente (Figura 22).

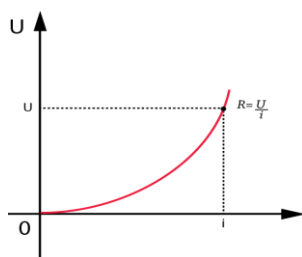


Figura 22: curva característica de resistor não-ôhmico hipotético. (Fonte: autor).

## 4.2 Segunda Lei de Ohm (ou Lei de Ohm microscópica)

Consideremos um fio condutor de comprimento  $l$ . Seja  $A$  área de sua seção transversal, suposta constante. Verifica-se experimentalmente, que a resistência elétrica desse fio é tanto maior quanto maior for o seu comprimento e menor a área de seção transversal, dependendo ainda do material de que é feito ( $\rho$ ) e da temperatura.

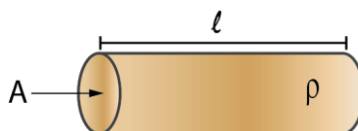


Figura 23: fio de comprimento  $l$ , área de seção  $A$  e resistividade  $\rho$ . (Fonte: autor).

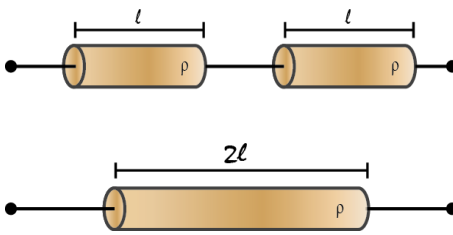
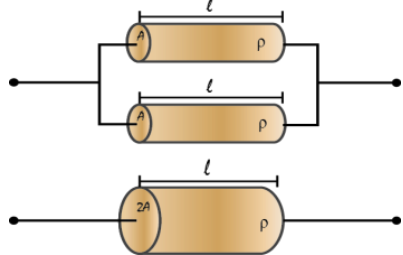
Isso significa dizer que a intensidade da corrente elétrica que flui num resistor depende da diferença de potencial dele, da sua espessura, do comprimento e do material do que é feito. A resistência é proporcional ao seu comprimento  $l$ , inversamente proporcional a sua área  $A$  e diretamente proporcional a sua resistividade<sup>23</sup> ( $\rho$ ).

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

A resistividade possui uma tendência de diminuir o fluxo de elétrons. Essa tendência de resistir está presente em todos os materiais, embora, em diferentes graus. Sobre a influência do campo elétrico, os elétrons se movem através do metal assim como uma bola de gude cai através de um fluido viscoso. Se não encontrasse resistência, ela aceleraria como um corpo caindo no vácuo. Em virtude da resistência ela se movimenta em média com velocidade constante. A resistividade é como a viscosidade, quanto maior é a resistividade do material mais lentamente uma partícula se movimentará através dela.

Quando se acrescenta resistores em circuitos, um após outro, o efeito é o mesmo de se fazer um resistor mais comprido, ou seja, a resistência aumenta (Figura 24 e 25). A isso se dá o nome de resistores em série. Quando se coloca resistores lado a lado (paralelos entre si), aumenta-se a área através da qual a corrente pode fluir, logo, diminui-se a resistência. Esses são chamados de resistores em paralelo. Sua resistência é menor do que de cada um isoladamente.

<sup>23</sup> Uma material homogêneo terá resistividade igual a  $1\Omega\text{m}$  se um cubo de um metro de aresta, feito desse mesmo material, apresentar uma resistência elétrica de  $1\Omega$  entre faces opostas.

	<p>Figura 24 Quando se associa resistores em série, a resistência ao fluxo de elétrons aumenta devido ao aumento do comprimento (Fonte: autor).</p>
	<p>Figura 25: Quando se associa resistores em paralelo, a resistência ao fluxo de elétrons diminui devido ao aumento da área. A resistência dessa associação é menor do que o resistor isoladamente (Fonte: autor).</p>

A grande importância de se conhecer e organizar os resistores implica no controle desejável da corrente elétrica no circuito. Eles são resistores utilizados nos circuitos eletrônicos para limitar a corrente elétrica e, consequentemente, reduzir ou dividir a tensão fornecida pela bateria. Os resistores são componentes que formam a maioria dos circuitos eletrônicos. Eles são fabricados com materiais de alta resistividade com a finalidade de oferecer maior resistência à passagem da corrente elétrica. Dificilmente se encontrará um equipamento eletrônico que não use resistores.

## 5. Circuitos elétricos

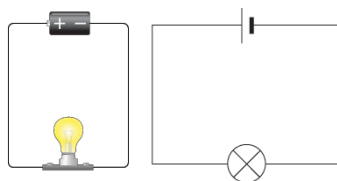


Figura 26: Representações de circuitos o da esquerda é um circuito real, com uma lâmpada ligada a uma pilha. O da direita é a representação do mesmo circuito em forma de diagrama usando símbolos. (Fonte: internet)

Nos condutores, se existe um fluxo contínuo de elétrons livres em uma direção uniforme isso caracterizará uma corrente elétrica. Se os elétrons fluem de um ponto A até um ponto B constantemente, para manter esse fluxo contínuo, seria necessário uma quantidade infinita de elétrons. Entretanto, se utilizarmos um circuito elétrico, ou seja, um caminho sem interrupções não precisaríamos de uma quantidade infinita de elétrons. Qualquer caminho fechado por onde os elétrons podem fluir é chamado de circuito elétrico. Muitas vezes, utilizamos uma chave elétrica para cortar ou estabelecer o fornecimento de energia elétrica no circuito. Esses circuitos são, em geral, conectados a fontes de tensão, resistores, interruptores, etc. Esses dispositivos podem ser conectados ao circuito de diferentes formas, ou em série ou em paralelo, ou mista. Quando conectados em série eles formam um único caminho para o fluxo de elétrons entre os terminais de uma pilha, ou de uma bateria ou da tomada da parede. Quando conectados em paralelos eles formam ramos, cada um dos quais é um caminho por onde os elétrons podem fluir. A conexão mista é quando conectamos elementos em série e em paralelo no mesmo circuito. Todas essas conexões possuem características que as distinguem.

### 5.1 Circuitos em série

Na Figura 27 é uma representação de um circuito em série.

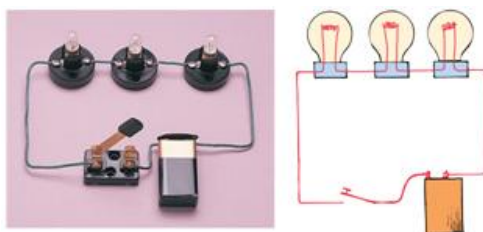


Figura 27 representação do circuito em série. (Fonte: internet).

As três lâmpadas estão conectadas em série com a bateria. Existe uma chave possibilita abrir e fechar o circuito. Quando a chave é fechada, a mesma corrente se estabelece quase que imediatamente nas três lâmpadas. Os elétrons livres do condutor fluem através de cada uma delas. A corrente elétrica vai do polo (+), em direção ao polo negativo (-) – sentido convencional. A queima do filamento de qualquer uma das lâmpadas, ou simplesmente a abertura da chave resultará no corte do fluxo de elétrons. Essa é maior desvantagem de um circuito em série: se um dispositivo falhar, a corrente deixará de existir no circuito inteiro.

Existem algumas características importantes quando se conecta um circuito em série, são elas:

- A corrente elétrica estabelecida no circuito dispõe de apenas um caminho. Isso significa que a corrente que percorre cada dispositivo elétrico é a mesma.
- Essa corrente enfrenta a resistência de todas as lâmpadas, de modo que a resistência total do circuito a corrente é soma das resistências totais de cada uma delas.



- c) A intensidade da corrente no circuito é numericamente igual a voltagem fornecida pela bateria dividida pela resistência total do circuito. Isso está de acordo com a Lei de Ohm.
- d) A Lei de Ohm se aplica a cada dispositivo do circuito individualmente. A queda de potencial ou a ddp de cada um deles é proporcional a resistência.
- e) A voltagem total fornecida pela bateria no circuito em série se divide entre os dispositivos elétricos individuais, de modo que a soma das quedas de potenciais em cada dispositivo é igual à voltagem total fornecida pela bateria.

## 5.2 Circuitos em paralelo

Na Figura 28 temos uma representação de um circuito em paralelo.

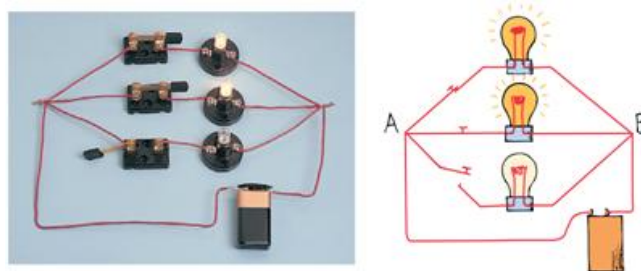


Figura 28: Representação do circuito em paralelo. (Fonte: internet).

As três lâmpadas agora estão ligadas em paralelo com a bateria. Observe que uma das lâmpadas encontra-se apagada, não impedido o fluxo de elétrons pelo circuito. Nessa situação, temos três caminhos separados ligando A e B. Isso significa que cada dispositivo opera independentemente dos outros dispositivos. Veremos a seguir as principais características de um circuito em paralelo:

- a) Cada dispositivo liga os mesmos dois pontos A e B do circuito. Isso significa que a tensão é a mesma em cada dispositivo.
- b) A corrente total se divide através dos ramos paralelos; como diferença de potencial (V) entre cada ramo é a mesma, sua corrente é inversamente proporcional à resistência do ramo – a Lei de Ohm ( $V= Ri$ ) se aplica a cada ramo separadamente.
- c) A corrente total no circuito é igual à soma das correntes nos seus ramos paralelos.
- d) Quando o número de ramos paralelos aumenta, a resistência total diminui a cada caminho adicionado entre dois pontos quaisquer do circuito. Isto significa que a resistência total do circuito é menor do que a resistência de qualquer um dos ramos.

A vantagem do circuito em paralelo é que caso alguma lâmpada se queime, as outras lâmpadas continuarão acesas. A intensidade do brilho de cada lâmpada é inalterada embora as alterações da resistência total e a corrente total ocorrem para o circuito como um todo, não ocorre nenhuma alteração em qualquer ramo individual do circuito.

## 5.3 Potência Elétrica

Quando uma corrente flui através de um resistor, a energia elétrica transformada em calor é igual a quantidade de carga multiplicado pela diferença de potencial. Isso porque uma carga que se move através de um resistor gasta energia, a menos que o meio seja um supercondutor. A taxa com a qual a energia elétrica é convertida em outra forma, tal como a energia mecânica, calor ou luz, é chamada de potência elétrica. A potência de aquecimento ou a potência consumida é igual ao produto da corrente pela voltagem. Combinando com a primeira Lei de Ohm, obtemos:

$$P = Vi \rightarrow P = i^2 R \rightarrow P = \frac{V^2}{R}$$

Se a voltagem é expressa em volts e a corrente em ampères, então a potência é expressa em watts. Portanto,

$$\text{watts} = \text{ampères} \times \text{volts}$$

Se uma lâmpada de 120 W operar numa linha de 120 V, você poderá ver que ela é alimentada por uma corrente de 1A (120 watts= 1 A x 120 V). Uma lâmpada de 60 W operaria com uma corrente de 0,5A ligada a uma linha de 120 V. Para saber o custo da energia elétrica, utilizamos a relação:

$$\text{energia} = \text{potência} \times \text{tempo}$$

Desse modo, a energia pode ser expressa em unidades de quilowatt-hora (kWh). Um quilowatt equivale a 1000 W, ou seja, um quilowatt-hora representa a quantidade de energia consumida em uma hora a uma taxa de um quilowatt. As companhias de energia utilizam essa unidade de energia, dependendo da localidade, o valor pago por quilowatt-hora equivale alguns centavos.

## 5.4 Diagramas Esquemáticos

Usamos símbolos para desenhar diagramas de circuitos elétricos. Uma linha reta sólida representa um fio condutor de resistência ideal. O resistor é representado por uma linha em ziguezague ou ainda por uma um retângulo disposto sobre o circuito, conforme a Figura 29. Nessa figura, apresentamos os símbolos mais comuns encontrados nos circuitos elétricos. A ideia de um diagrama do circuito é a utilização de símbolos em vez do desenho de cada componente. A questão toda é tornar mais fácil de ver o que está ligado ao que.

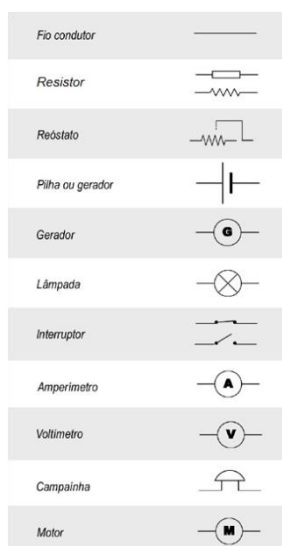


Figura 29: Representação simbólica dos elementos de um circuito. (Fonte: internet).

Agora que sabemos como representar os elementos dos circuitos em diagramas, podemos fazer a representação do circuito da Figura 27, onde temos um circuito com três lâmpadas em série e da Figura 28, onde temos um circuito com três lâmpadas em paralelo ligados a uma bateria de 9V. Representamos as resistências de cada lâmpada.

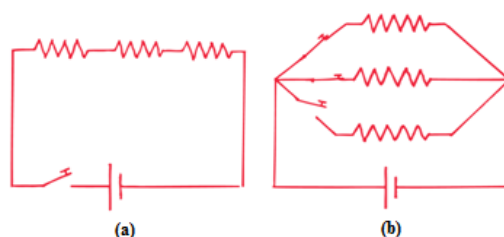


Figura 15: (a) associação de resistências em série (b) associação de resistências em paralelo.

## 5.5 Associação de Resistores

Às vezes, é prático conhecer a resistência equivalente de um circuito que tem vários resistores em sua rede. A resistência equivalente ( $R_{eq}$ ) é valor da resistência que poderia substituir qualquer resistor do circuito sem alterar o valor da corrente fornecida pela bateria ou pela fonte de tensão. Na associação em série, a resistência equivalente será a soma dos valores de cada resistor.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Considerando as lâmpadas da Figura 30(a) idênticas, com resistência  $R_1 = R_2 = R_3 = 30\Omega$ . A Resistência equivalente do circuito desse circuito em série seria  $R_{eq} = 90\Omega$ .

Na associação do circuito em paralelo, como foi discutido na seção anterior, a resistência equivalente do circuito diminui. Matematicamente falando, a resistência equivalente na associação em paralelo seria:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Considerando as lâmpadas da Figura 30(b) idênticas, com resistência  $R_1 = R_2 = R_3 = 30\Omega$ . A Resistência equivalente do circuito desse circuito em série seria  $R_{eq} = 10\Omega$ . A resistência equivalente é menor porque o caminho percorrido pela corrente no resistor possui uma largura três vezes maior e comprimento um terço do tamanho comparado com o circuito em série (Figura 30a).

Podemos ainda fazer associações mistas, isto é, conectar num mesmo circuito os dispositivos em série e em paralelo. Na Figura 31 temos um exemplo de associação mista de um circuito.

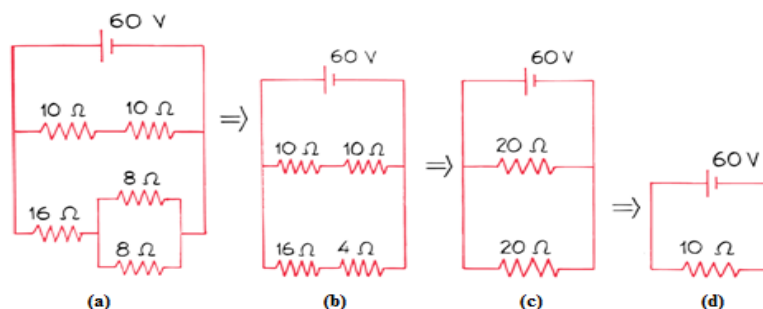


Figura 31: (a) Uma bateria de 60 V está conectada há vários dispositivos elétricos. Observe que parte desse circuito está em série (os dois resistores de  $10\Omega$ ) e parte está em paralelo (os dois resistores de  $8\Omega$ ). (b) Calcula-se a resistência equivalente da associação.

## PARTE II

## 6. Atividades de Investigação

Defendemos a ideia de que o ensino por investigação inclui atividades assumidas como problemas. Segundo Azevedo (2004), esses problemas devem levar o aluno: a pensar, a debater, a justificar suas ideias e ainda aplicar os conhecimentos em situações diversas, utilizando os conceitos teóricos e matemáticos. As atividades investigativas constituem o ponto de partida dos alunos “fazerem ciência” em sala de aula. Através delas, é possível, enfatizar as tipologias dos conteúdos conceitual, procedimental e atitudinal dos estudantes (POZO; CRESPO, 2009; ZABALA, 2008).

Para reforçar o aspecto investigativo das atividades, elas foram concebidas na perspectiva PIE (Predizer, Interagir e Explicar) do mesmo método proposto por (DORNELES et al, 2012) e na perspectiva do Modelo dos 5Es proposto por (BYBEE et. al, 2006).

As atividades foram concebidas para promover a aprendizagem de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais dos estudantes. Elas serão apresentadas de acordo com o objetivo de ensino. Haverá atividades de interpretações de textos, outras que envolvem atividades com experimentos reais, e ainda, atividades práticas com simulações. As 10 atividades propostas aqui fez parte de uma sequência didática estabelecida que atendeu a pesquisa de mestrado. A seguir mostraremos a forma como foi desenvolvida.

## 7. Proposição das atividades

Procuramos identificar em cada atividade proposta a seguir os tipos de conteúdos – Conceitual (C), Procedimental (P) e atitudinal (A) – ou seja, as habilidades que cada instrumento de avaliação pretende potencializar. Essas habilidades podem ser entendidas como um conjunto de sugestões que pode ser utilizada para compor um planejamento. Além disso, identificamos em cada aula as ações pedagógicas estabelecidas pelo professor.

Sugerimos que as atividades desenvolvidas no laboratório de informática sejam realizadas em duplas e que as atividades desenvolvidas em sala de aula, dependendo do grau de aberta que possuem, sugerimos um número de 3 a 6 componentes. Grupos com números maiores poderão demandar mais debates, discussões, porém, é preciso observar os grupos, verificar se há participação de todos integrantes, ou seja, é preciso cautela na hora formar os grupos, realizar testes, etc.

As atividades que utilizam objetos de aprendizagens: software, applets, vídeos e imagens – na parte 3 desse guia, discutimos a utilização desses recursos. Esperamos que as atividades propostas aqui possam ser reutilizadas, readaptadas pelos colegas professores.

## 7.1 Primeira atividade

Conteúdos estabelecidos na atividade:

C1: Reconhecer materiais condutores e isolantes.  
 C2: Explicar a utilização desses materiais no dia-a-dia.  
 P1: Elaborar hipóteses  
 P2: Construir modelos explicativos  
 P3: Testar hipóteses  
 P4: Comparar resultados  
 P5: Generalizar  
 A1: Estabelecer o aprendizado em grupo de forma colaborativa

Ativ. 1. Os materiais utilizados nesta experiência são três fios, uma pilha e uma lâmpada (ou um led). Pegam-se três pedaços encapados de fio de cobre e suas pontas são desencapadas. É útil utilizar também um suporte para pilha, que vai facilitar sua ligação elétrica com os fios.

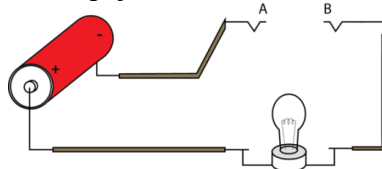


Fig. 1: Representação de um circuito genérico.

Utiliza-se também uma pequena lâmpada de lanterna que acenda com 1,5 volts ou 3 volts. Se usada, a lâmpada deve ser enroscada em um bocal ou soquete apropriado. Isto facilita os contatos elétricos. Uma chave para fechar ou abrir o circuito também é útil, embora isto não seja essencial. Todas estas coisas podem ser encontradas em lojas de material elétrico. Uma das extremidades desencapadas do primeiro fio é ligada ao terminal negativo da pilha, com a outra extremidade desencapada ficando livre no ar. Esta parte livre está representada pela letra A. Uma das extremidades do segundo fio é ligada ao terminal positivo da pilha, com a outra extremidade ligada a um dos contatos do bocal da lâmpada. Uma das extremidades do terceiro fio é ligada ao outro contato do bocal da lâmpada, com a outra extremidade do fio ficando livre no ar (vamos chamá-la de B). A distância entre A e B deve ser da ordem de uns 8 cm. Só utilize o circuito quando for solicitado.

### Parte 1

1) Você acha que na condição que está o circuito a lâmpada irá brilhar? Comente.

2) Faça uma previsão do que acontecerá com a lâmpada ao ligar entre as pontas A e B do circuito:  
 (a) um canudo de plástico, (b) fio de cobre, (c) bastão de grafite (presente dentro do lápis), (d) palito de madeira, (e) copo com água pura (destilada), (f) copo com água salgada (cloreto de sódio), (g) pedaço de vidro, (h) pedaço de batata.

### Parte 2

3) Faça os testes com os materiais listados no item anterior, ligando cada um entre as pontas A e B do circuito e respondendo as seguintes perguntas: a lâmpada acende? Explique por quê.

### Parte 3

4) Liste os materiais que são caracterizados como condutores e àqueles caracterizados como isolantes. Essa caracterização é válida para qualquer situação? Comente.

Aula	Conteúdos	Ações pedagógicas	Instrumentos de avaliação
1	C1, P1, P2 e A1.	Professor propõe na parte 1 que os alunos façam previsão a respeito do acendimento da lâmpada.	Recolhe os dados estabelecidos pelos grupos e observação a participação dos estudantes.
	C1, P3, P4 e A1.	Professor propõe na parte 2 que os alunos interajam com o aparato experimental.	Observação da participação dos alunos na atividade.

2	C1, C2, P4, P5 e A1.	Professor propõe na parte 3 que os alunos listem os materiais e explique a validade científica da listagem.	Recolhe os dados estabelecidos pelos grupos e observação a participação dos estudantes.
3	C1, C2, P1, P2, P3, P4 e A5.	Professor propõe leitura da seção 1 do material (20min). Desenvolve uma demonstração da atividade 1 explicando os conteúdos.	Observação da participação dos alunos nas leituras individuais e a participação na aula.

## 7.2 Segunda atividade

Conteúdos estabelecidos na atividade:

C1: Explicar fenômenos utilizando modelos clássicos de corrente elétrica.  
 C2: Resolver problemas utilizando  $i=q/t$   
 P1: Elaborar hipóteses  
 P2: Construir modelos explicativos  
 A1: Estabelecer um posicionamento crítico perante a situação problema.

Ativ. 2. Faça a leitura das seções 2.1, 2.2 e 2.3. A partir da leitura do material:

a) Descreva por meio de textos e figuras a viagem dos elétrons através de um fio. Se possível, utilize analogias para explicar o fenômeno.

b) O Coulomb é a unidade de carga e  $6,25 \times 10^{18}$  elétrons formam um Coulomb. Considerando que a corrente elétrica drenada pelo circuito 0,25A, quantos elétrons passam através do filamento de lâmpada em um segundo?

c) Explícite por meio de esquemas o sentido real e o sentido convencional da corrente elétrica. O sentido convencional faz sentido?

Obs: subsequente a realização da atividade, o professor deverá fazer um feedback das ações e discutir o conteúdo com os alunos. É importante retomar os assuntos da atividade e esclarecer as eventuais dúvidas apresentadas pelos estudantes.

Aula	Conteúdos	Ações pedagógicas	Instrumentos de avaliação
1	C1, P1 e A1.	Professor propõe inicialmente as leituras. Em seguida, referente ao item (a), solicita o estabelecimento da noção de corrente elétrica por meio de textos e figuras.	Observação da participação dos alunos na atividade. Recolhe os dados estabelecidos pelos estudantes.
2	C1, C2, P2 e A1.	Professor possibilita/estimula e media, no item (b), os estudantes aplicarem noção de corrente em uma situação diferente. No item (c), solicitação explicação do sentido da corrente elétrica por meio de textos e figuras.	Recolhe os dados produzidos pelos estudantes e observa a participação na atividade.
3	C1, C2, P1, P2 e A1	Aula expositiva. O professor retoma o assunto relacionado às atividades desenvolvidas anteriormente e avalia os estudantes por meio de exercícios.	Observa a participação dos estudantes na aula.



### 7.3 Terceira atividade

Conteúdos estabelecidos na atividade:

C1: Explicar fenômenos relacionados ao efeito térmico produzido pela corrente elétrica.  
 P1: Elaborar hipóteses  
 P2: Testar hipóteses  
 P3: Construir modelos explicativos  
 A1: Estabelecer o aprendizado em grupo de forma colaborativa

Ativ. 3. Os materiais utilizados nesta são: palhas de aço, fios, pilhas e papel alumínio. Pegam-se os pedaços encapados de fio de cobre e suas pontas são desencapadas. Utiliza-se uma pilha nova alcalina, tamanho médio (C), que gera entre seus polos uma diferença de potencial de 1,5 volts = 1,5 V (pode-se utilizar 2 pilhas alcalinas pequenas). É útil utilizar também um suporte para pilha, que vai facilitar sua ligação elétrica com os fios.



Fig.: Representação dos circuitos (a) um com papel alumínio e (b) outro com uma palha de aço.

Só monte o circuito quando for solicitado.

- Faça uma previsão do que acontecerá com o alumínio e a palha de aço ao estabelecer os circuitos da Figura 1.
- Faça os testes montando os circuitos e verifique se suas previsões estavam corretas.
- Dê uma explicação para o fenômeno estudado.

Aula	Conteúdos	Ações pedagógicas	Instrumentos de avaliação
1	C1, P1, P2, P3 e A1.	Professor solicita que os alunos em grupo discutam suas respostas. (item a). No item b, o professor coloca a disposição dos alunos os materiais para a montagem dos circuitos. No item c os estudantes explicam o problema.	Observação da participação dos alunos na atividade. Recolhe os dados estabelecidos pelos grupos.
2	C1	Aula expositiva. O professor dar um feedback da atividade desenvolvida pelos estudantes e estende o conteúdo de outros efeitos que a corrente pode produzir.	Observa a participação na aula.

## 7.4 Quarta Atividade

Conteúdos estabelecidos na atividade:

C1: Reconhecer um circuito fechado  
 C2: Explicar alguns fenômenos utilizando o modelo clássico de corrente elétrica  
 C3: Relacionar o brilho das lâmpadas quando se utiliza pilhas de tamanhos variados.  
 P1: Estruturar as próprias ideias através de desenhos  
 P2: Elaborar hipóteses  
 P3: Construir e aplicar modelos explicativos  
 P4: Testar hipóteses  
 P5: Comparar resultados  
 P6: Fazer sínteses  
 P7: Fazer generalizações  
 A1: Buscar que os alunos aprendam a trabalhar em grupo de forma colaborativa  
 A2: Buscar que os alunos consigam dialogar e respeitar as diferenças  
 A3: Ter um posicionamento crítico e investigativo perante a situação-problema

Ativ. 4. (Parte 1) – Os materiais utilizados nesta experiência são: um fio, uma pilha e uma lâmpada. Pegam o pedaço encapado de fio de cobre e sua ponta é desencapada. Utiliza-se uma pilha nova alcalina, tamanho pequeno (AA), que gera entre seus polos uma diferença de potencial de 1,5 volts = 1,5 V. Utiliza-se também uma pequena lâmpada de lanterna que acenda com 1,5 volts.

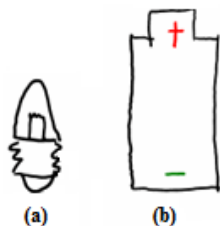


Fig. 1: Representação sugerida que seja utilizada para a (a) lâmpada e (b) para a pilha. (Fonte: autor)

A figura 1 acima representa os modelos de lâmpada e pilha que vocês deverão utilizar para esboçar os esquemas. Só utilize o material quando permitido pelo professor.

a) Esboçe, pelo menos, quatro formas diferentes de acender a lâmpada se fosse utilizado o material descrito.

b) Utilize a pilha, a lâmpada e o fio para verificar se suas previsões estavam corretas. Se um ou mais dos esquemas apresentados não funcionarem, continue tentando, até encontrar quatro maneiras diferentes de acender a lâmpada. No final, vocês deverão apresentar seus esboços originais, inclusive aqueles que não tiveram sucesso e explicar se funcionou ou não.

c) Escolha um membro do grupo para desenhar no quadro um esboço de uma das formas utilizadas para acender a lâmpada e explicar.

d) (Atividade para casa) Faça uma lista de todos os itens utilizados em sua casa que funciona na eletricidade. Faça a representação do circuito de pelo menos três itens e entregue na próxima aula.

(Parte 2) Responda a questão 2 antes de fazer qualquer outra montagem.

2) O que aconteceria ao brilho da lâmpada se você estivesse usando uma pilha palito (AAA) ou a pilha média (C) em lugar da pilha pequena (AA)? Explique seu raciocínio.

3) Monte o circuito usando a pilha palito (AAA) e a pilha média (C) em lugar da pilha pequena (AA). Sua previsão sobre o brilho da lâmpada estava correta? Descreva e explique o que você notou.

4) O tamanho da pilha tem influência sobre o brilho da lâmpada? Explique seu raciocínio.

Aula	Conteúdos	Ações pedagógicas	Instrumentos de avaliação
1	C1, C2, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e A1, A2 e	No item (a) o professor propõe que os alunos em grupo esboquem ligações entre pilhas e lâmpadas elétricas – na tentativa de identificar as ideias dos alunos acerca do circuito fechado. No item (b), o professor coloca a disposição os materiais para	Recolhe a atividade dos alunos. Observa a participação dos estudantes ao longo da intervenção: os diálogos com os colegas do

	A3.	montagem dos circuitos e comprovarem se as soluções que propuseram anteriormente de fato fazem a lâmpada acender. No item c, o professor solicita que um membro do grupo explique a forma utilizada para montar o circuito. No item d, o professor propõe uma atividade para casa de forma a generalizar os conteúdos da atividade.	grupo, com o professor e a exposição.
2	C3, P1, P2, P3, P4, P5, P6, A1, A2 e A3.	O professor propõe no item (a) inicialmente que os alunos façam uma previsão a respeito do brilho da lâmpada. No item (b) o professor coloca a disposição dos grupos as pilhas e solicita os testes para verificar se as previsões estavam corretas. No item (c) solicita que os alunos expliquem o fenômeno baseados no desenvolvimento da atividade.	Recolhe a atividade dos alunos. Observa a participação dos estudantes ao longo da intervenção: os diálogos com os colegas do grupo, com o professor e a exposição.
3	C1, C2 e C3	Aula expositiva. O professor retoma o assunto relacionado nas atividades e avalia os estudantes por meio de exercícios de reflexão.	Observa a participação dos estudantes na aula.

## 7.5 Quinta atividade

Conteúdos estabelecidos na atividade:

C1: Relacionar a existência da corrente elétrica ao campo elétrico estabelecido no condutor  
 P1: Elaborar hipóteses  
 P2: Fazer comparações  
 A1: Estabelecer o aprendizado em grupo de forma colaborativa

Ativ. 5. Considere o texto abaixo para responder a questão:



Fig.1: Festa de carnaval. (Fonte: internet)

É algo parecido a uma escola de samba desfilando na avenida: os elétrons são frenéticos passistas. Embora se movimentem, ou “dancem”, executando seus passos com velocidades fantásticas, como vimos, a velocidade média do conjunto dos elétrons ao longo do condutor é muito pequena. Também aqui há uma semelhança com o que ocorre com uma escola de samba. Em seu conjunto, ela sempre se desloca a uma velocidade muito menor que a de qualquer de seus componentes enquanto executam suas coreografias. (Material instrucional parte 1, p.29).

A figura acima é de uma festa popular no Brasil. No texto, faz-se uma analogia de uma escola de samba na Avenida com um condutor percorrido por uma corrente elétrica. No desfile de uma escola de samba temos alguns elementos: samba enredo produzido pela bateria da escola, passistas, carros alegóricos, dentre outros. Em grupo, procure identificar os elementos semelhantes aos do encontrado nos circuitos elétricos. Em caso de dúvida em relação a essa analogia, leiam a seção 2.4 do material instrucional. Lá encontrarão elementos que auxiliarão a investigação.

Aula	Conteúdos	Ações pedagógicas	Instrumentos de avaliação
1	C1, P1, P2 e A1	O professor propõe a atividade e media a investigação.	Observação da participação dos alunos na atividade. Recolhe os dados estabelecidos pelos grupos.
2	C1 e A1	Aula expositiva. O professor retoma o assunto relacionado a atividade e avalia os estudantes por meio de exercícios de reflexão.	Observa a participação dos estudantes na aula.

## 7.6 Sexta atividade

Conteúdos estabelecidos na atividade:

- C1: Entender a origem da “tensão” numa bateria.  
 P1: Explorar a simulação.  
 P2: Construir e aplicar modelos explicativos.  
 A1: Buscar que os alunos aprendam a trabalhar em grupo de forma colaborativa.

Ativ. 6. A figura abaixo é de um applet: tensão na bateria<sup>24</sup>. Ele está disponível no site Phet Colarado. Toda a atividade deverá ser desenvolvida com o applet em execução. Fiquem atentos aos procedimentos descritos a seguir. Qualquer dúvida chame o professor.

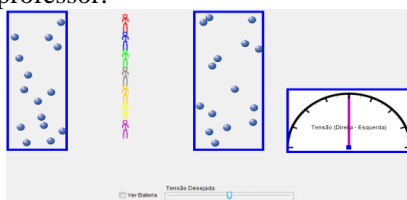


Fig.1 : Representação do applet utilizado na questão.

- 1) Observe a figura acima. Essa figura é a mesma apresentada quando executamos o applet pela primeira vez. Os retângulos azuis representam os polos de uma pilha (bateria). Conte a quantidade de esferas azuis em cada lado.
- 2) Na opção "Tensão desejada" deslize para esquerda o controle e observe o que acontece. Faça o registro dessa observação e aponte o lado onde há predominância maior de esferas azuis.
- 3) Qual é a sua hipótese sobre a identidade das esferas azuis que foram transferidas para o outro lado?
- 4) Mova o controle deslizante "Tensão desejada" para o lado direito, e observe o que acontece. Registre a observação.
- 5) Clique na caixa "Ver bateria". De que lado fica a "parte superior da bateria", direito ou esquerdo?  
 ? \_\_\_\_\_
- 6) Os elétrons estão na "parte superior da bateria", ou na "parte inferior da bateria"?  
 \_\_\_\_\_
- 7) Que lado da bateria possui excesso de elétrons , direito ou esquerdo? \_\_\_\_\_
- 8) Deslize o controle deslizante "Tensão desejada" todo para a esquerda, e observe o que acontece. Neste novo estado:
  - a) A "parte superior da bateria" posição mudou porque esta parte da bateria contém pouco  
 \_\_\_\_\_.
  - b) A "parte inferior da bateria" contém um excesso de \_\_\_\_\_. Por esse motivo essa parte representa o polo (positivo / negativo) \_\_\_\_\_ da bateria.
  - c) Os materiais que formam as extremidades da bateria são chamados eletrodos. O ânodo é o eletrodo carregado positivamente. No ânodo, o material do eletrodo possui um número excessivo de buracos. O ânodo é a (parte superior da bateria/parte inferior da bateria)\_\_\_\_\_.
  - d) O cátodo é o eletrodo carregado negativamente . No cátodo, o material do eletrodo possui um número  
 \_\_\_\_\_

<sup>24</sup> Link de download do applet [https://phet.colorado.edu/sims/battery-voltage/battery-voltage\\_en.jar](https://phet.colorado.edu/sims/battery-voltage/battery-voltage_en.jar)

excessivo de elétrons. O cátodo é a (parte superior da bateria/parte inferior da bateria)\_\_\_\_\_.

e) Qual é valor da tensão na bateria representada na figura 1.

f) Exibição do vídeo: Eletricidade – entre o mais e o menos<sup>25</sup>.

Aula	Conteúdos	Ações pedagógicas	Instrumentos de avaliação
1	C1, P1, P2 e A1.	O professor propõe a atividade e orienta os estudantes (em dupla) a realizarem a atividade. Após a realização recolhe-se a atividade e exibe-se o vídeo.	Recolhe-se a produção dos estudantes; observa-se a participação ao longo da aula.
2	C1	O professor dá um feedback em relação a atividade realizada na aula anterior e discute a atividade e o vídeo.	Observa-se a participação ao longo da aula.

<sup>25</sup> Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IUgS7Uw-qBI>

## 7.7 Sétima atividade

Conteúdos estabelecidos na atividade:

C1: Enunciar/ aplicar a 1ª Lei de Ohm  
 C2: Relacionar o efeito Joule aos resistores.  
 C3: Identificar resistores ôhmicos de não-ôhmicos  
 P1: Ler e interpretar textos  
 A1: Participar da atividade de forma crítica

Ativ. 7. Consultem a seção 4 da apostila e resolvam as questões abaixo:

a) Faça uma lista com palavras incomuns ou cujo significado você não sabe. Converse com seu colega de grupo sobre o significado de cada uma delas e, em caso de dúvida, procure seu significado no dicionário.

Palavra	Significado

b) O que é um resistor? Qual é a natureza da resistência elétrica de um resistor?

c) O que é o Efeito Joule? Explique. Aproveite para desenhar os símbolos utilizados para representar os resistores no circuito.

d) Quais são os dispositivos utilizados no dia a dia que fazem uso do Efeito Joule? Liste-os e faça a representação (desenho) de pelo menos um deles. (desenhe o resistor do equipamento, os fios, etc.).

e) Enuncie a primeira Lei de Ohm (não se esqueça de discutir a significado a fórmula).

f) Em quais situações a Lei de Ohm não é válida? Faça a leitura da seção 4.1 e tente dar uma explicação.

g) Se a voltagem (V) aplicada através de um circuito mantém-se constante enquanto a resistência (R) dobra de valor, que alteração ocorre na corrente?

h) Se a resistência de um circuito se mantém constante enquanto a voltagem através do circuito diminui para metade do seu valor inicial, que alterações ocorre na corrente?

i) A intensidade da corrente elétrica que percorre um componente eletrônico submetido a uma diferença de potencial constante varia em função do tempo de acordo com o gráfico a seguir:

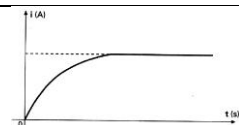


Fig. 16: Resistor não-ôhmico.

A resistência elétrica desse componente:

V	F	Decresce com o passar do tempo.
V	F	Aumenta uniformemente ao longo do tempo
V	F	Tende para zero para grandes valores de tempo.
V	F	É mínima no instante inicial.

Aula	Conteúdos	Ações pedagógicas	Instrumentos de avaliação
1	C1	Aula expositiva utilizando um applet: 1ª Lei de Ohm <sup>26</sup> . Essa demonstração tem por objetivo definir a primeira Lei de Ohm ( $V= Ri$ ) e investigar os eventos quando se altera as grandezas (tensão e corrente elétrica). Por fim, desenvolvemos alguns exemplos mesclando problemas teóricos e numéricos. (apresentamos esse applet na terceira parte desse guia).	Observar a participação dos alunos na aula.
2	C1, C2, C3, P1 e A1	O professor propõe atividade e solicita que os estudantes a façam individualmente.	Recolhe-se a produção dos estudantes e observa suas participações.

<sup>26</sup> Link de download do applet: [http://phet.colorado.edu/sims/ohms-law/ohms-law\\_pt\\_BR.jar](http://phet.colorado.edu/sims/ohms-law/ohms-law_pt_BR.jar)

## 7.8 Oitava atividade

Conteúdos estabelecidos na atividade:

C1: Enunciar/ aplicar a 2ª Lei de Ohm  
 P1: Ler e interpretar textos  
 P2: Comparar resultados  
 A1: Participar da atividade de forma crítica

Ativ. 8. A figura abaixo é de um applet: 2ª Lei de Ohm<sup>27</sup>. Ele está disponível no site Phet Colorado. Fiquem atentos aos procedimentos descritos a seguir. Antes de utilizarmos o applet, responda as questões a seguir (consulte a seção 4.2 da apostila):

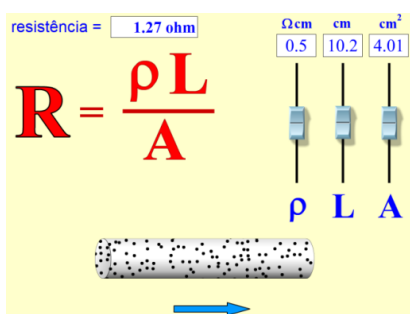


Fig. 1: Applet utilizado na atividade.

- 1) Quais são os fatores que afetam a resistência de um condutor elétrico?
- 2) Se o comprimento de um fio condutor dobrar, como é que a resistência muda? Explique.
- 3) Por que é chamado de resistividade uma propriedade do material?
- 4) Se a área de um fio condutor dobrar, como é que a resistência muda? Explique.
- 5) Calcule a resistência de um material nos seguintes casos:
  - a)  $\rho=0,5 \text{ } \Omega\text{cm}$ ;  $l=10\text{cm}$  e  $A=3,85\text{cm}^2$ ;
  - b)  $\rho=0,5 \text{ } \Omega\text{cm}$ ;  $l=10\text{cm}$  e  $A=10\text{cm}^2$ ;
  - c)  $\rho=0,5 \text{ } \Omega\text{cm}$ ;  $l=15,4\text{cm}$  e  $A=10\text{cm}^2$ ;
  - d)  $\rho=0,77 \text{ } \Omega\text{cm}$ ;  $l=10\text{cm}$  e  $A=3,85\text{cm}^2$ ;
- 6) Explore o applet. Utilize-o para testar se os resultados do item (e) estão corretos.

Aula	Conteúdos	Ações pedagógicas	Instrumentos de avaliação
1	C1, P1, P2, P3 e A1	O Propõe que sejam resolvidos os problemas. No final, o professor coloca a disposição dos estudantes o applet para testar e comparar os resultados obtidos.	Recolhe-se a produção dos estudantes e observa suas participações.
2	C1 e A1	Aula expositiva. O professor resolve problemas numéricos e teóricos exemplos mesclando problemas teóricos de conteúdos relacionados a 1ª e 2ª Lei de Ohm.	Observa a participação dos estudantes nas aulas.

<sup>27</sup> Link de download do applet: [http://phet.colorado.edu/sims/resistance-in-a-wire/resistance-in-a-wire\\_pt\\_BR.jar](http://phet.colorado.edu/sims/resistance-in-a-wire/resistance-in-a-wire_pt_BR.jar)



## 7.9 Nona atividade

Conteúdos estabelecidos na atividade:

C1: Calcular potência dissipada nos resistores  
 C2: Relacionar potência ao brilho emitido pela lâmpada.  
 P1: Elaborar hipóteses  
 P2: Testar hipóteses  
 P3: Comparar resultados  
 P4: Elaborar sínteses  
 A1: Participar da atividade de forma crítica

Ativ. 9. As questões propostas a seguir devem ser resolvidas aplicando a teoria e as fórmulas estudadas e, após, devem ser montados os circuitos no software Edison e comparados os resultados. O software Edison, como você conhece, possui uma lâmpada com a seguinte especificação nominal: Potência ( $P$ ) = 3,0W e Voltagem ( $V$ ) = 5,6V (que pode ser alterada). Utilizaremos 3 lâmpadas com as seguintes especificações:

L1:  $P1 = 3W$  e  $V1=3,0V$ ;

L2:  $P2 = 3W$  e  $V2=4,5 V$

L3:  $P3 = 3W$  e  $V3=6,0 V$ .

Considere três circuitos simples formados cada um por umas das lâmpadas citadas, ligados a uma fonte de 3,0 V. Considere o gerador ideal e a resistência constante.

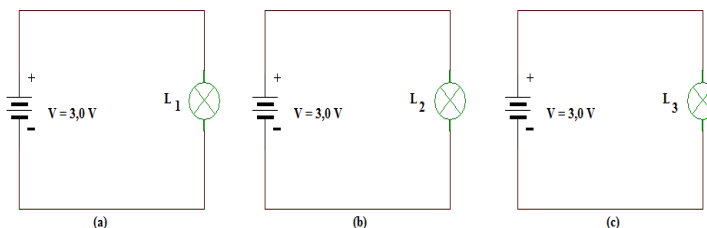


Fig 1: Três circuitos elétricos simples.

- Nestas condições, calcule a resistência ( $R$ ) de cada lâmpada e a intensidade da corrente ( $i$ ) que passa por elas.
- Calcule a Potência dissipada em cada lâmpada.
- Como podemos interpretar esses dados em termos de iluminação fornecida (ou o brilho)? Em que situação o brilho é máximo?
- Monte os circuitos no aplicativo Edison e verifique se suas previsões estavam corretas.

Aula	Conteúdos	Ações pedagógicas	Instrumentos de avaliação
1	C1, P1, P2, P3 e P4 e A1	O Propõe que sejam resolvidos os problemas. No final, o professor coloca a disposição dos estudantes o software Edison para testar e comparar os resultados obtidos.	Recolhe-se a produção dos estudantes e observa suas participações.
2	C1, C2 e C3	Aula expositiva. O professor dar um feedback da atividade desenvolvida pelos estudantes e apresenta a solução do problema no aplicativo Edison.	Observa a participação dos estudantes na aula.

## 7.10 Décima atividade

Conteúdos estabelecidos na atividade:

C1: Trabalhar com associação de resistores em série;  
 C2: Trabalhar com associação de resistores em paralelo;  
 C3: calcular corrente elétrica e voltagem em ramos de circuitos elétricos envolvendo geradores e resistores  
 P1: Elaborar hipóteses  
 P2: Testar hipóteses  
 P3: Comparar resultados  
 P4: Elaborar sínteses  
 A1: Participar da atividade de forma crítica

Ativ. 10. As questões propostas a seguir devem ser resolvidas aplicando a teoria e as fórmulas estudadas e, após, devem ser montados os circuitos no software Edison e comparados os resultados. O software Edison, como você conhece, possui uma lâmpada com a seguinte especificação nominal: Potência ( $P$ ) = 3,0W e Voltagem ( $V$ ) = 5,6V (que pode ser alterada). Utilizaremos 3 lâmpadas com as seguintes especificações: L1:  $P_1 = 3W$  e  $V_1=3,0V$ ; L2:  $P_2 = 3W$  e  $V_2=4,5 V$ ; L3:  $P_3 = 3W$  e  $V_3=6,0 V$ .

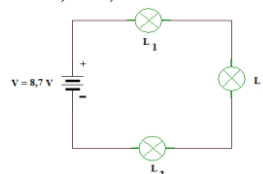


Fig. 1: circuito em série.

10.1) Considere, agora, um circuito formado pelas três lâmpadas ligadas em série a uma fonte de tensão de 8,7 V (pode ser um gerador ou geradores associados) e responda: (As Resistências das lâmpadas é a mesma utilizada atividade anterior).

- a) Qual é a resistência total ( $R_{eq}$ ) no circuito?
- b) Qual é a intensidade da corrente drenada por cada lâmpada?
- c) Qual a voltagem fornecida pelo gerador a cada lâmpada?
- d) Faça os testes no aplicativo Edison e verifique se suas previsões estavam corretas. Caso encontre algum erro, discuta-os.

10.2) Considere a figura representando as três lâmpadas, associadas em paralelo, e ligados a uma ddp de 3,0 V.

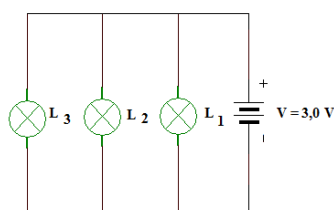


Fig. 2: circuito em paralelo.

- a) Nestas condições, calcule a resistência equivalente ( $R_{eq}$ ) do circuito, a intensidade da corrente que passa por cada lâmpada e a voltagem fornecida pelo gerador a cada lâmpada.
- b) Faça os testes no aplicativo Edison e verifique se suas previsões estavam corretas. Caso encontre algum erro, discuta-os e corrija-os.

Aula	Conteúdos	Ações pedagógicas	Instrumentos de avaliação
------	-----------	-------------------	---------------------------

1	C1, C2, C3, P1, P2, P3 e P4 e A1	Nas atividades 1e 2 o professor propõe que os alunos em dupla desenvolvam os problemas. Os testes no aplicativo Edison serão realizados apenas na próxima aula..	Recolhe-se a produção dos estudantes e observa suas participações.
2	C1, C2, C3, P1, P2, P3 e P4 e A1	O professor coloca a disposição dos estudantes o software Edison para testar e comparar os resultados obtidos.	Observa a participação dos estudantes na aula.

### **PARTE III**

## 8. Objetos de Aprendizagens

A utilização de recursos tecnológicos é um fator de motivação para o estudo da Eletrodinâmica. Essas ferramentas consistem de software, applets e animações que auxiliam o aprendizado dos estudantes. Trazemos nesse trabalho o construto de Objeto de aprendizagem, o mesmo trazido por (Sosteric; Hesemeier, 2002), quando nos referirmos às ferramentas tecnológicas. Segundo Sosteric & Hesemeier (2002), os objetos de aprendizagens devem conter dados, porém, mais do que um ficheiro de imagens e arquivos digitais, estes dados ou informação devem estar atreladas a uma teoria e a uma prática com fins pedagógicos. Devem ainda, internamente ou por associação sugerir contextos adequados para sua utilização. É importante também que possam ser utilizados como fontes de pesquisa; serem reutilizados e referenciados. Utilizamos nessa pesquisa alguns objetos de aprendizagem, tais como: vídeos, imagens, softwares e applets no construto de Sosteric e Hesemeier (2002). A seguir apresentaremos alguns dos quais foram utilizados na pesquisa de mestrado.

O objetivo aqui não é ensinar manipular os objetos de aprendizagens apresentados, mas, potencializar sua utilização nos laboratórios de informática por meio dos computadores, notebook, celulares, tablets, ou TVs multimídia. A ideia mostrar como foram utilizados nas atividades e reforçar o entendimento que temos a respeito dos objetos de aprendizagens.

## 9. Utilização dos objetos de aprendizagens

Utilizamos na pesquisa o software “Edison 4.0”<sup>28</sup> para realizar a simulação de experimentos em circuitos elétricos com correntes contínuas. Existe uma versão demonstrativa do aplicativo que pode ser acessado no link: <http://www.edisonlab.com/Portuguese/edison/>.



Figura 1: Principais elementos de circuitos elétricos (Fonte: autor).

O aplicativo Edison, assim nomeado em homenagem ao famoso inventor mundial **Thomas Alva Edison**, permite uma fácil e agradável compreensão da eletricidade. É possível ler, observar e até ouvir o que se passa nesse laboratório virtual. Numa ligação de curto-circuito, por exemplo, ouvi-se um som de sirene informando a situação. Se demorar em desligar o curto, o fio deverá ser substituído. O mesmo acontece com a lâmpada. Ela possui uma tensão nominal. Se ligadas a tensão superior a tensão nominal (sobretensão), se queima, devendo então ser substituída. O mesmo acontece com as pilhas, descarregam-se ao serem utilizadas por muito tempo. O aplicativo fornece medidores: voltímetros, amperímetros e ohmímetros para obter medições elétricas precisas o que auxiliará o professor em sala de aula, uma vez que tais equipamentos não estão tão presentes nas aulas de Física.

Na figura 1 apresentamos os principais elementos do aplicativo Edison 4.0. Antes de se utilizar esse aplicativo em sala de aula, foi aplicada nos estudantes a atividade a seguir:

<sup>28</sup> Esse software não é gratuito. Sua versão demo expira em 30 dias.

Atv. Explore os recursos do software Edison: selecione e observe as prateleiras, coloque peças na área de trabalho, verifique os valores nominais dos elementos e simule ligações usando fios condutores. Monte circuitos simples utilizando os recursos do software Edison. Ligue as lâmpadas e os geradores ora em série, ora em paralelo, observe os resultados, discuta, no grupo, as alterações observadas, anote os resultados e faça um relatório simples.

O aplicativo por ser simples sua manipulação, os estudantes tiveram a oportunidade de interagir com o laboratório virtual. Fizeram vários tipos de ligações, utilizaram fios, pilhas de tamanhos variados, motores elétricos, interruptores, medidores, etc.

A figura 2 apresentamos a solução da atividade 9 (Material instrucional parte 2, p.79). Pelo esquema é possível identificar os valores de resistências das três lâmpadas (a lâmpada L3 da direita possui maior resistência em relação as outras). Quando as três estão submetidas a mesma voltagem ( $V=3,0V$ ), a lâmpada que possui maior resistência terá uma corrente elétrica menor, e brilhará menos. O resultado visual do aplicativo potencializa a explicação do fenômeno Físico investigado.

Apresentamos na figura 3 a solução da atividade 10.1 (Material instrucional parte 2, p.82). O circuito está em série e é possível identificar a intensidade da corrente elétrica, as “quedas de potencial” (voltagem) de cada lâmpada e o brilho fornecido por cada uma delas. A lâmpada um brilhará mais do que a lâmpada dois, e a lâmpada brilhará mais do que a lâmpada um. Utilizamos um gerador de  $8,7V$ , conforme o exigido no problema.



Figura 2: Solução do item (a) da atividade 9 desenvolvida no Edison 4.0.

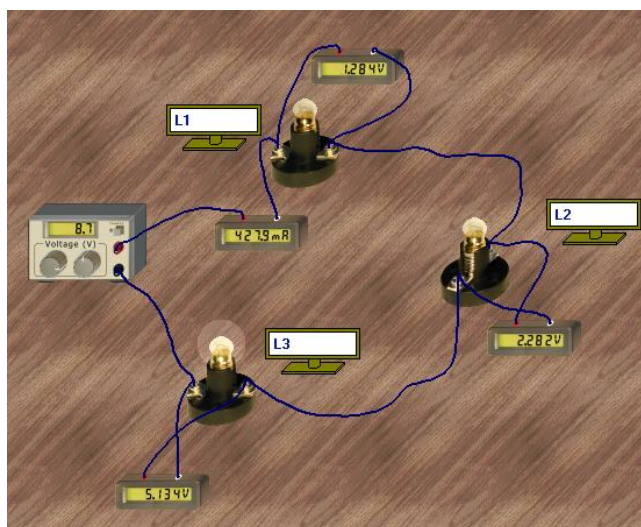


Figura 3: Solução dos itens (b) e (c) da atividade 10.1 desenvolvida no Edison 4.0.

Por fim, apresentamos na figura 4 a solução da atividade 10.2 (Material instrucional parte 2, p.82). O circuito é paralelo, e as lâmpadas estão interligadas por fios, por amperímetros, voltmímetro e por duas pilhas (1,5V) ligadas em série. A corrente elétrica divide-se e a voltagem é a mesma no circuito. Observe que a lâmpada L1 brilha mais porque essa lâmpada tem menor resistência das três, apesar de drenar a menor corrente.

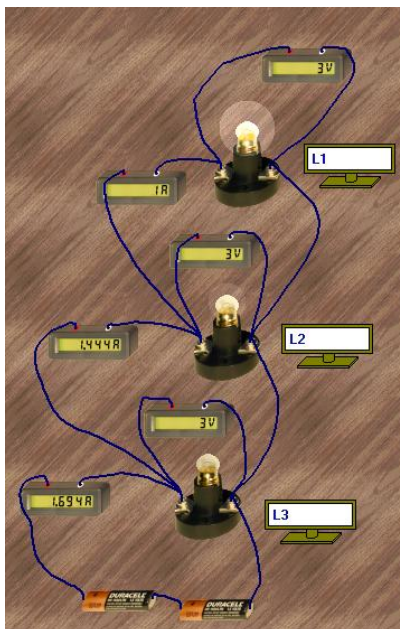


Figura 4: Solução da atividade 10.2 desenvolvida no Edison 4.0.

Utilizamos também na pesquisa os applets ou simulações criadas pelo projeto Physics Education Technology (ou projeto PHET), da Universidade do Colorado. Algumas das atividades desenvolvidas por esse projeto já estão traduzidas para a língua portuguesa e pode ser encontradas gratuitamente, inclusive com sugestões de atividades, no link: [http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/category/physics](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics).

Para usar essas simulações na escola é preciso ter instalado no computador, previamente, o aplicativo Java. O software necessário para rodar os arquivos Java é totalmente gratuito. O site do projeto PHET possui uma infinidade de recursos e contempla applets na área de Ciências da Natureza (Física, Química e Biologia) e Matemática e suas Tecnologias.

Apresentaremos a seguir dois applets que foram utilizados em duas atividades (a sexta e a oitava) e um applet que foi utilizado em uma demonstração (na sétima atividade).

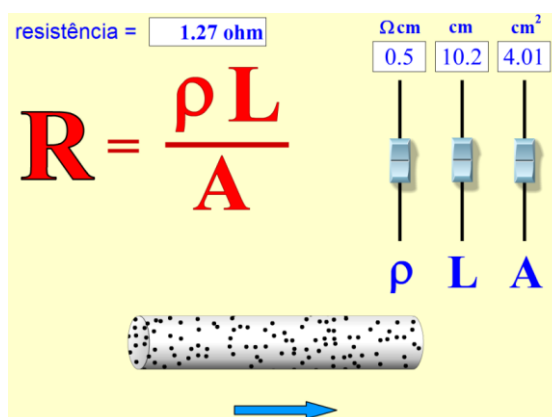


Figura 5: Applet utilizado na atividade 8.



Esse applet apresenta um fio condutor metálico e cilíndrico. Apresenta ainda a fórmula da 2ª Lei de Ohm (em vermelho), e três controles deslizantes: (i):  $\rho$  (resistividade do material) – na simulação, devido a impossibilidade de representar os átomos e sua forma de organização, foram utilizados pontinhos pretos cuja concentração sugere o aumento ou a diminuição da resistividade do fio metálico; (ii):  $L$  (comprimento do fio) demonstrando que o comprimento do fio interfere diretamente na resistência do material; (iii):  $A$  (área da seção transversal) demonstrando que a resistência do material é inversamente proporcional a essa área. O aplicativo permite ainda visualizar a proporcionalidade direta (com  $\rho$  e  $L$ ) e inversa (com  $A$ ), pois, ao aumentar ou diminuir os valores no controle deslizante o valor de  $R$  e da grandeza alterada aumenta ou diminui. É um applet de fácil manipulação e permite trabalhar de forma dinâmica o conteúdo da 2ª Lei de Ohm.

Outro applet interessante é o que demonstra a tensão na bateria. Ele foi utilizado na atividade 6 (Material instrucional parte 2, p.72). Esse applet, quando executado pela primeira vez, apresenta o visual representado na figura 6. Os retângulos azuis representam eletrodos de uma bateria. As esferas azuis representam os elétrons. Como existe um equilíbrio de cargas de ambos os lados, podemos dizer que a tensão ou a ddp (diferença de potencial) é nula.

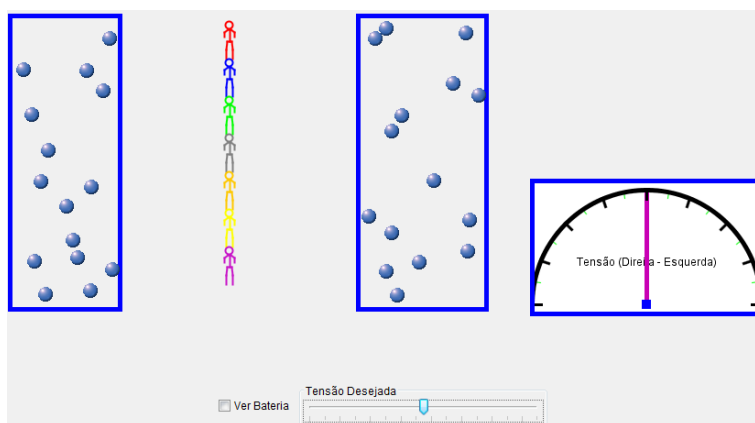


Figura 6: Applet utilizado na atividade 6.

Pode-se alterar a tensão a partir do controle deslizante (Tensão Desejada). Ao mover para esquerda esse controle, os homens palitos moverão os elétrons para a esquerda significando que existe uma tensão na bateria. Ao clicar “Ver Bateria”, desenha-se a imagem da bateria com os respectivos polos positivo e negativo (figura 7).

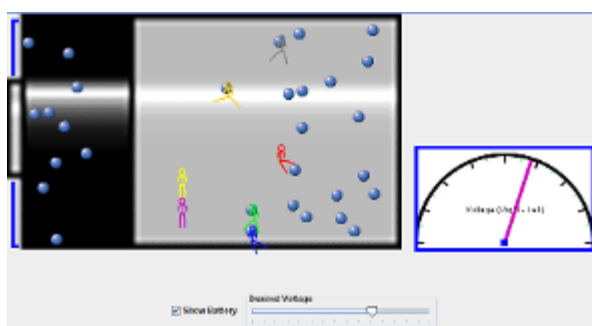


Figura 7: Visualização da bateria do applet utilizado na atividade 6.

Para potencializar ainda mais o applet, quando essa atividade foi aplicada, utilizamos um outro tipo de objeto de aprendizagem, ou seja, exibimos um vídeo que trata do mesmo assunto, porém, de forma lúdica. Esse vídeo, que faz parte de uma coleção francesa de vídeos didáticos (Voyage en Electricite), está



disponível em na playlists<sup>29</sup> do youtube. No vídeo assistido, não encontramos qualquer erro científico que possa desmerecê-lo a ponto de não ser utilizado nesse guia.

O vídeo é um objeto de aprendizagem muito presente nas escolas. Professores de todas as áreas o utilizam. Assistir filmes científicos, documentários, gravações de fenômenos naturais são ações corriqueiras no ambiente escolar. Como foi citado no início, no construto de Sosteric e Hesemeier (2002), não só os vídeos constituem objetos de aprendizagens. Imagens podem representar objetos de aprendizagens. O ficheiro de imagens: figuras 1,2 e 3 dessa seção constituem objetos de aprendizagens, sobretudo, porque está atrelada a uma teoria e a uma prática. Os elementos representados nas figuras: lâmpadas, fios, baterias e medidores guardam uma relação, constituem objetos que estão relacionados a um fenômeno físico, a um princípio lógico. As figuras 1,2 e 3 em um contexto de sala de aula podem: produzir conflitos cognitivos, potencializar uma investigação, ou, até mesmo instruir um estudante, que são, por sua vez, um dos objetivos dos objetos de aprendizagens.

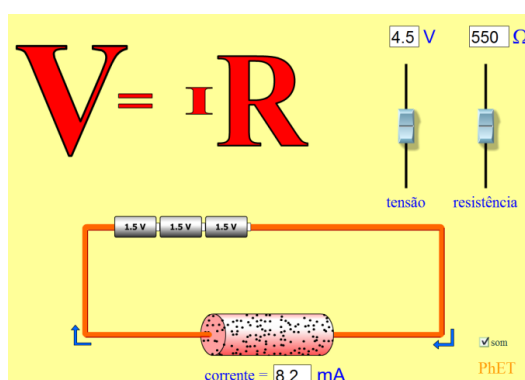


Figura 8: Visualização do applet apresentado numa aula anterior a realização da atividade 7.

Apresentaremos a seguir outro applet utilizado agora para desenvolver uma demonstração. As demonstrações investigativas são apontadas, segundo Azevedo (2004), pelo potencial de favorecer uma maior participação e interação dos alunos nas aulas. Essa investigação desenvolvida a partir “pequenos problemas” que foram levantados ao longo da aula. Problemas dos tipos: a) Se eu alterar o valor da tensão na bateria, que mudanças ocorrerão no circuito em relação a corrente elétrica e a resistência?; b) Se eu alterar a resistência, haverá mudança na corrente elétrica?; c) Se a tensão ou a corrente elétrica permanecerem constante, o que acontece? Esses pequenos problemas foram resolvidos por eles, procurei ao longo da aula, ouvir mais do que falar, perguntar menos do que responder.

O applet utilizado na demonstração está representado na figura 8. Sua utilização é simples e não exige muito trabalho. Ao modificar o controle deslizante da grandeza tensão V (0 - 9V), o valor da corrente elétrica muda automaticamente (R permanece inalterado). Ao modificar o valor da resistência R (60 – 1060  $\Omega$ ), o valor da corrente elétrica muda automaticamente no circuito (V permanece inalterado). As letras que representam as grandezas diminuem ou crescem favorecendo o entendimento das relações de proporcionalidades.

<sup>29</sup> Disponível no link: <http://www.youtube.com/playlist?list=PLF4A88D1A90B7E502>

## 10. Referências

- AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p.19-33.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação. **Parâmetros curriculares nacionais: ciências naturais**. Brasília: MEC/SEF, 1997.136 p.
- BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002, 144p.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, v.2, 2006, 135p.
- Bybee, R. W. (2006a). Scientific inquiry and science teaching. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education (pp. 1-14). Dordrecht: Springer.
- CARVALHO, Ana Maria Pessoa. **Crítérios estruturantes para o Ensino de Ciências**. 1-17, 2004. In: CARVALHO, Ana Maria Pessoa (org.); Ensino de ciências, unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral**. Ciência & Educação, v. 18, p. 99-122, 2012.
- DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNANBUCO, Marta Maria. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 4ª ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- HEWITT, P. G. Física Conceitual. 9a ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- SOSTERIC, M.; HESEMEIER, S. When is a Learning Object not an Object: A first step towards a theory of learning objects. In: *International Review of Research in Open and Distance Learning*, [S.l.:s.n], v.3, n.2, out. 2002. Disponível em <<http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/106/85.html>>. Acesso em: maio. 2013
- ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Tradução: Ernani F. da Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998.